Fizik Yasaları Üzerine

richard feynman



TÜBİTAK

7. Basım

FİZİK YASALARI ÜZERİNE

richard feynman

TÜBİTAK Popüler Bilim Kitapları 12

The Character of Physical Law

Çeviri: Nermin Arık

ISBN 975 - 403 - 018 - 9

Önsöz

Bu kitabı oluşturan yedi bölüm Amerika Birleşik Devletleri'nin Cornell Üniversitesi'nde verilmiş olan Messenger Konferansları'nı kapsamaktadır. Bu konferanslar "Fizik Yasalarının Ortak Özellikleri" konusundaki bilgilerini genişletmek isteyen öğrencilerden oluşmuş bir dinleyici kitlesine verilmişti. Konferanslar önceden hazırlanmış bir metne göre değil, irticalen, sadece birkaç nottan yararlanılarak gerçekleştirilmişti.

Messenger Konferansları bir matematik profesörü olan Hiram J. Messenger'in, dünyanın çeşitli yerlerinden ünlü kişilerin Cornell'deki öğrencilere konuşma yapmalarını sağlamak amacıyla bir bağışta bulunduğu 1924 yılından bu yana her yıl verilmektedir. Bu bağışı yaparken Messenger amacını şöyle belirtmiştir: "Uygarlığın gelişimi konusunda, özellikle politika, iş ve sosyal yaşantımızda manevi standartlan yükseltmek amacıyla bir ders, veya bir dizi ders verilmesini sağlamak."

Kasım ayında, seçkin bir fizikçi ve eğitimci olan Profesör Richard P. Feynman 1964 konferanslarını vermek üzere buraya davet edildi. Kendisi daha önce Cornell'de profesör olarak bulunmuştu. Şimdi ise California Institute of Technology'de fizik profesörüdür. Yakın zamanda Royal Society'nin[1] Yabancı Üyeliği'ne seçilmiştir. Yalnız fizik yasalarının bugünkü anlamına yaptığı katkılarla değil, konusuna fizikçi olmayanlara da ilginç kılma yeteneği ile ünlüdür.

Bu kitabın bölümleri, Profesör Feynman'ın, kendisine sınırsız konuşma olanağı sağlayan büyük bir sahneden, kalabalık bir dinleyici topluluğuna yaptığı konuşmaların yazıya dökülmüş şeklidir. Konuşmacı olarak uluslararası üne sahip olan Feynman, kürsüdeki heyecanlı üslubu ile tanınmıştır. Bu kitap, konferansları izleyip de ileride onlara başvurmak isteyecek televizyon seyircileri için kalıcı bir kaynak olarak düşünülmüştür. Bir ders kitabı olarak algılanmaması gerekir; ancak öne sürdüğü tartışmalar,

yasaları daha net bir şekilde kavramak isteyen fizik öğrencileri için de aydınlatıcı olacaktır.

Richard Feynman, Philip Daly'nin *Man at the Heart of the Matter* (Maddenin Özündeki İnsan) programında yer alan fizikçilerden biri olarak ve son bilimsel keşifler hakkında 1964'te yayınlanmış son derece ilginç programlardan biri olan *Strangeness Minus Three* (Acaiplik Eksi Üç)'ye yaptığı büyük katkı dolayısıyla, BBC-1 izleyicilerinin yabancısı değildir.

Messenger Konferanslarının Profesör Feynman tarafından verilmesi kararlaştığında BBC'nin *Science and Features* (Bilim ve ilginç Konular) Bölümü harekete geçti. Bu konferans dizisi şimdi BBC-2'de ileri Eğitim Projesi'nin bir bölümü olarak yayınlanmaktadır. Program daha önce görecelik konusunda Morrison ve termodinamik konusunda Porter tarafından verilen konferanslar doğrultusunda devam etmektedir.

Okuyacağınız metin konferansların yazıya dökülmüş şekli olup bilimsel doğruluk yönünden Profesör Feynman tarafından gözden geçirilmiştir. Ben ve asistanım Fiona Holmes sözcükleri derleyip yazı şekline dönüştürdük. Kitabı beğeneceğinizi umarız. Richard Feynman ile çalışmak bizim için doyurucu bir deneyim olmuştur; izleyici ve okurların bu projeden yararlanacaklarını sanıyoruz.

Alan Sleath,

BBC Dış Yayınlar,

Bilim ve ilginç Konular Bölümü Prodüktörü,

Haziran 1965

BBC, Cornell Üniversitesi Haber Bürosu'na Resim 2'rıin; California Institute of Technology'ye de Bölüm 1'de kullanılan diğer resim ve çizimlerin yayınlanmasına izin verdikleri için teşekkür eder.

Profesör Feynman'ın çalışmalarını daha ayrıntılı olarak incelemek isteyen öğrencilere, rektörün takdim konuşmasında söz ettiği kitapların California Institute of Technology tarafından The Feynman Lectures in Physics (Feynman Fizik Dersleri) başlığıyla yayınlandığını duyururuz.

Cornell Üniversitesi Rektörü Dale R. Corson'un 1964 Messenger Konuşmacısını Takdimi

Bayanlar, Baylar. Kaliforniya Teknoloji Enstitüsü'nden Profesör Richard P. Feynman'ı Messenger Konferansçısı olarak takdim etmekten onur duyarım.

Profesör Feynman seçkin bir teorik fizikçidir ve fiziğin savaş sonrası dönemdeki olağanüstü gelişimi sonucu ortaya çıkan karmaşaya bir düzen getirme konusunda çok şeyler başarmıştır. Kendisine verilen ödül ve payeler arasından ben yalnızca 1964 Albert Einstein Ödülü'nü zikredeceğim. Üç yılda bir verilen bu ödül, bir altın madalya ve büyük bir miktar para içermektedir.

Profesör Feynman eğitimini M.l.T. (Massachussetts Teknoloji Enstitüsünde, mezuniyet sonrası eğitmini de Princeton'da yaptı. Princeton'da, Manhattan Projesi üzerinde, daha sonra da Los Alamos'ta çalıştı. 1944'de Cornell'e yardımcı profesör olarak geldi; kadrolu eleman olarak atanması ise savaş sonrasında gerçekleşti. Cornell'e atanması sırasında hakkında söylenmiş olan şeylerin ilginç olacağını düşünerek Mütevelli Heyeti Tutanaklarını inceledim... atanması konusunda hiçbir kayıt yok. Ancak izinler, ücret zamları ve terfilerle ilgili yirmi kadar kayıt buldum. Bunlardan biri ilgimi çok çekti. 31 Temmuz 1945'te Fizik Bölümü Başkanı, Beşeri Bilimler Dekanı'na şunları yazmış: "Dr. Feynman ender rastlanan olağanüstü bir eğitici ve araştırmacı". Bölüm Başkam, böyle değerli bir öğretim üyesi için yılda üçbin doların biraz yetersiz olduğunu belirterek ücretinin dokuzyüz dolar artırılmasını önermiş. Dekan da, ender bir cömertlik göstererek, üniversitenin mali durumuna aldırmadan dokuzyüz dolan çizip rakamı bin dolar yapmış. Görülüyor ki üniversitemiz

daha o zamandan Profesör Feynman’ın değerini takdir etmiş bulunuyor! Profesör Feynman 1945’te fakültemizde sürekli olarak çalışmaya başladı ve çok verimli bir beş yılı böylece geçirdi. 1950 yılında Cornell’den ayrıldı ve o zamandan bu yana çalışmakta olduğu Cal. Tech. (Kaliforniya Teknoloji Enstitüsüye gitti.

Konuşmasına başlamadan önce, sizlere onun hakkında biraz daha bilgi vermek istiyorum. Üç dört yıl önce Cal. Tech.’te vermeye başladığı fiziğe giriş dersleri, onun ününe yeni bir boyut ekledi (bu dersler iki cilt halinde basılmıştır ve konuya taptaze bir yaklaşım getirmektedir).

Bu basılmış ders notlarının giriş bölümünde Feynman’ın büyük bir mutlulukla bongo davulları çalarken çekilmiş bir fotoğrafı yer almaktadır. Cal. Tech.’teki arkadaşlarım, onun arada bir Los Angeles gece kulüplerine gidip davulcunun yerine çaldığını bana anlattılar. Ancak, Profesör Feynman bunun doğru olmadığını söylüyor. Bir başka özelliği de kilitli kasaları açmadaki ustalığıdır. Bir söylentiye göre, gizli bir kuruluştaki bir kasayı açıp gizli evrakı çıkardıktan sonra yerine “Bilin bakalım kim?” yazan bir not bırakmış. Bir konferans vermek üzere Brezilya’ya gitmeden önce İspanyolca öğrenmesinden de söz edebilirim; ama etmeyeceğim.

Söylediklerimin sizlere yeterli bir ön bilgi verdiğini sanıyorum. Profesör Feynman’ı tekrar Cornell’de görmekten mutluyum. Genel konusu “Fizik Yasaları Üzerine”; bu geceki konusu ise “Fizik Yasalarına Bir Örnek: Yerçekimi Yasası”.

Fizik Yasalarına Bir Örnek: Yerçekimi Yasası

Sözlerime, bana her zaman tuhaf gelmiş olan bir şeyle başlayacağım. Kalabalık bir toplantıda bongo davulları çalmam istendiği ender zamanlarda, takdimci benim bir teorik fizikçi olduğumdan söz etmeye hiç gerek duymaz. Sanırım bunun nedeni, sanata karşı duyulan saygının bilime

duyulandan büyük olmasıdır. Rönesans sanatçıları insanın temel uğraşının insan olması gerektiğini söylemişlerse de, dünyada ilginç başka şeyler de vardır. Sanatçılar bile günbatımının, okyanus dalgalarının ve gökyüzüne serpilmiş yıldızların güzelliğini fark ederler! Bunları gözlemek bize estetik bir haz vermeye yeter. Doğa olguları arasında da gözle görülmeyen, ancak analizci bir gözle bakıldığında farkedilebilen bir ritm ve düzen vardır. Bizim fizik yasaları dediğimiz de bu ritm ve düzenin ta kendisidir. Bu konferans dizisinde fizik yasalarının genel nitelikleri üzerinde durmak istiyorum. Bu, başka düzeyde bir genelliktir; yasaların kendilerinden daha üst konumda olduğunu söyleyebileceğimiz bir genellik. Ele alacağım konu, ayrıntılı analizler sonucunda gördüğümüz doğa olacak; ancak, bu doğanın sadece en kapsamlı genel nitelikleri hakkında konuşacağım.

Bu ölçüde genellemeler içeren bir konunun felsefeye yönelme eğilimi vardır; konuşmalar ‘derin felsefe yapmak’ olarak algılanabilir. Ben daha özel bir yaklaşım seçerek, belirsiz olmayı değil, gerçekten anlaşılmayı tercih edeceğim. Bu ilk konferansta genellemeleri bırakıp özel bir fizik yasası üzerinde konuşacağım. Böylece de, daha sonra genel olarak üzerinde duracağım şeylerin bir örneğini vermiş olacağım. Bu örneği, çok soyut olarak algılanabilecek bir şeyi daha somut yapmak için, gerektikçe kullanacağım. Fizik yasalarına özel bir örnek olarak yerçekimi yasasını, yerçekimi olgusunu seçtim. Bu seçimi neden yaptığımı bilmiyorum. Bu, keşfedilen ilk temel yasalardan birisidir ve ilginç bir tarihçesi vardır. Şimdi bana şöyle diyebilirsiniz: “O eski bir hikaye; ben daha modem bilim hakkında bir şeyler duymak isterim.” Belki ‘daha yeni’den sözedilebilir; ama ‘daha modem’den sözedilemez. Modem bilim, yerçekimi yasasının keşfi ile aynı geleneği izlemektedir. Bu nedenle, sadece daha yakın zamanlarda yapılmış keşifler hakkında konuşmuş oluruz. Yerçekimi yasasının kötü bir seçim olduğunu sanmıyorum; çünkü onun tarihini, yöntemlerini, keşfinin özelliğini, niteliğini anlatmakla bütünüyle modem bir yol izlemiş olmaktayım.

Bu yasanın, “insan zekasının gerçekleştirdiği en kapsamlı genelleme” olduğu söylenmiştir. Ancak daha önceki sözlerimden de, benim insan zekasından çok, yerçekimi gibi zarif ve yalın bir yasayla gerçekleşen bir doğa harikası ile ilgilendiğimi tahmin edebilirsiniz. Bu nedenle, onu keşfedecek kadar akıllı olduğumuza değil, doğanın onu dikkate alacak kadar akıllı olduğu konusuna eğileceğiz.

Yerçekimi yasası şudur: iki kütle, birbiri üzerine, aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı ve kütlelerinin çarpımı ile doğru orantılı olan bir kuvvet uygular. Bu önemli yasayı aşağıdaki matematik formülüyle ifade edebiliriz:

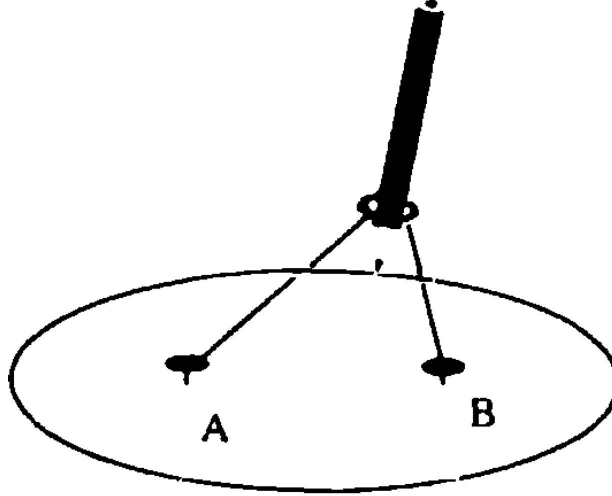
$$F = G \frac{mm'}{r^2}$$

Yani bir sabit sayı çarpı kütlelerin çarpımı bölü uzaklığın karesi. Şimdi buna bir de, bir kütlenin bir kuvvet etkisiyle ivme kazandığım, veya hızının her saniye, kütlesiyle ters orantılı olarak değiştiğini, veya kütle azalınca hızının daha fazla, kütleyle ters orantılı olarak değiştiğini eklersem yerçekimi yasası hakkında bütün gerekenler söylenmiş olur. Bunun ötesinde söylenecekler, bu iki şeyin matematiksel sonucundan ibarettir. Hepinizin matematikçi olmadığını ve bu iki şeyin bütün matematiksel sonuçlarını hemen göremeyeceğinizi biliyorum. Bu nedenle size keşfin öyküsü, bazı sonuçlan, bilim tarihi üzerinde yaptığı etki, böyle bir yasanın içerdiği gizemler, Einstein’ın yaptığı bazı ufak değişiklikler ve biraz da diğer fizik yasaları ile ilişkisi konusunda kısaca bilgi vereceğim.

Tarihçe kısaca şöyledir: Eski bilginler gezegenlerin gökyüzündeki hareketlerini gözlemleyerek onların Dünya ile birlikte Güneş çevresinde döndüğü sonucuna vardılar. Bu sonuç daha sonra Copernicus tarafından da bağımsız olarak keşfedildi -insanlar keşfin daha önce yapıldığını unutmuşlardı. Bundan sonra araştırılacak soru şuydu: Güneş çevresinde tam olarak nasıl dönüyorlardı? Güneş’in merkez olduğu bir çember üzerinde mi, yoksa bir başka eğri boyunca mı? Ne hızla hareket ediyorlardı? v.b. Bunların yanıtlanması daha uzun zaman aldı. Copernicus sonrası dönemler, gezegenlerin gerçekten Dünya'yla birlikte Güneş etrafında mı döndükleri, yoksa Dünya’nın evrenin merkezinde mi olduğu sorularının tartışıldığı dönemlerdi. Daha sonra Tycho Brahe[2] adında bir adam, soruyu yanıtlamak için bir yöntem önerdi. Eğer gezegenler çok dikkatle gözlenip gökyüzündeki yerleri tam olarak kaydedilirse, teorilerin durumu belki açıklığa kavuşabilirdi. Bu, modem bilimin anahtarı ve doğanın gerçekten anlaşılmasının başlangıcı oldu: bir şeyi gözlemek, ayrıntıları kaydetmek ve bu bilgilerin şu veya bu yorumu çıkarmayı sağlayacak ipuçlarını içerdiğini ummak. Zengin bir kişi olan Tycho’nun Kopenhag yakınlarında bir adası

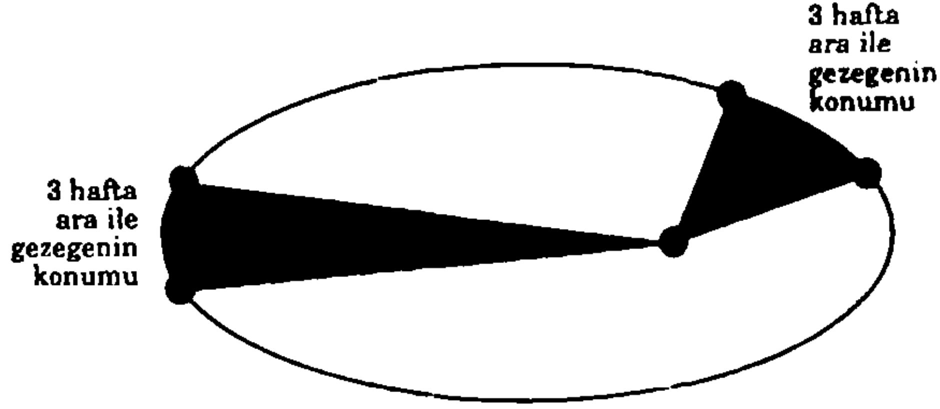
vardı. Buraya pirinçten yapılmış kocaman daireler yerleştirdi ve özel gözlem yerleri yaptırdı. Sonra, geceler boyunca gezegenlerin konumlarını kaydetti, işte ancak bu tür yorucu ve yoğun çalışmalar yoluyla bir şeyler bulunabilir.

Toplanan bütün bilgi Kepler'in[3] eline verildi; o da gezegenlerin Güneş etrafında ne tür bir hareket yaptığını incelemeye koyuldu. Bunun için deneme-yanılma yöntemini uyguladı. Bir ara yanıtı bulduğunu sandı: Gezegenler Güneş'in merkez olduğu çemberler üzerinde hareket ediyorlardı. Ancak daha sonra bir gezegenin, sanırım Mars'ın sekiz dakikalık bir yay kadar sapma yaptığını fark etti. Kepler, Tycho Brahe'nin bu ölçüde bir hata yapamayacağını düşünüp yanıtın doğru olmadığı sonucuna vardı. Deneylerin çok dikkatli yapılmış olması nedeniyle başka bir yol deneyerek sonunda üç şey keşfetti.



Şekil 1

İlk olarak, gezegenler Güneş'in odak olduğu elips şeklinde bir yörünge izliyorlardı. Elips bütün A ve B noktaları odaktır. Bir gezegenin Güneş çevresindeki yörüngesi bir elipstir; Güneş de odakların birindedir. Bundan sonra gelen soru şuydu: Güneş'e yaklaştıkça hızı artıyor, uzaklaştıkça yavaşlıyor mu? Kepler bunun da yanıtını buldu (Şekil 2).



Şekil 2

Bulduğu yanıt şöyle açıklanabilir: Örneğin üç hafta gibi belirli bir ara içeren iki farklı zamanda gezegenin konumunu saptayalım. Sonra, yörüngenin başka bir bölümünde, gezegenin yine üç hafta ara ile iki ayrı konumunu saptayalım ve Güneş'le gezegeni birleştiren doğruları çizelim (bilimsel deyimiyle bunlar yarıçap vektörleridir). Uç hafta ara ile çizilen iki doğru ve yörünge arasında kalan alan, yörüngenin her bölgesi için aynıdır. Demek ki, gezegen Güneş'e daha yakın olduğu yerlerde daha hızlı hareket ediyor, ve uzaklaştıkça aynı alanı taramak için daha yavaş ilerliyor.

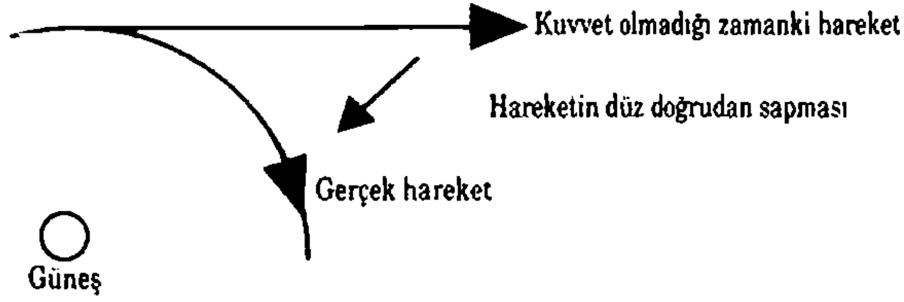
Birkaç yıl sonra Kepler üçüncü bir kural keşfetti. Bu kural yalnızca tek bir gezegenin Güneş çevresindeki hareketiyle ilgili değildi; farklı gezegenler arasında da ilişki kuruyordu. Bu kurala göre, bir gezegenin Güneş çevresinde tam bir devir yapması için gereken zaman, yörüngenin boyutuna bağlıdır; bu zaman da yörüngenin boyutunun küpünün kare kökü ile orantılıdır. Yörüngenin boyutu elipsin en büyük çapıdır. Kepler'in bu üç yasası şu şekilde özetlenebilir: *Yörünge bir elipstir; eşit sürelerde eşit alanlar taranır ve bir devir için geçen süre, boyutun üç bolü ikinci kuvvetiyle orantılıdır*; yani boyutun küpünün kare kökü ile. Kepler'in bu üç yasası gezegenlerin Güneş çevresindeki hareketlerini tam olarak belirlemektedir.

Bundan sonraki soru şuydu: Gezegenleri Güneş çevresinde hareket ettiren şey nedir? Kepler'le aynı dönemde yaşamış bazı kişiler bu soruyu şöyle yanıtlıyordu: Melekler kanatlarını çırparak gezegenleri arkadan yörünge boyunca iterler. Daha sonra göreceğiniz gibi bu yanıt gerçeğe pek de uzak sayılmaz. Tek fark, meleklerin farklı yönlerde oturup kanatlarını içeriye doğru çırpıyor olmalarıdır.

Aynı sıralarda Galileo da Dünya'daki sıradan cisimlerin hareket kurallarını inceliyor, bu inceleme sırasında da bazı deneyler yapıyordu. Toplar eğik bir düzlemden aşağı doğru nasıl yuvarlanıyor, sarkaçlar nasıl sallanıyordu? vb. Galileo eylemsizlik ilkesi denilen önemli bir kural keşfetti. Kural şuydu: Düz bir doğru üzerinde belirli bir hızla hareket eden bir cisim, hiçbir etken olmazsa bu doğru boyunca, aynı hızla, sonsuza kadar gitmeye devam edecektir. Bir topu durmamacasına yuvarlamaya çalışmış olan herkes için buna inanmak güç olsa da; bu ideal şartların varlığında, yerdeki sürtünme vb. etkenler olmasa, top gerçekten de düzgün bir hızla sonsuza kadar gidecektir.

Daha sonraki gelişme Newton'un şu soruyu tartışması ile başladı: Eğer cisim düz bir doğru boyunca hareket etmiyorsa *ne olur*? Buna verdiği yanıt da şu oldu: Hızı herhangi bir şekilde değiştirmek için kuvvet uygulamak gerekir. Örneğin, bir top hareket ettiği yönde itilirse hızı artar. Eğer gidiş yönü değişmişse kuvvet yandan uygulanmış demektir. Kuvvet iki etkinin çarpımı ile ölçülebilir. Ufak bir zaman aralığında hızın ne kadar değiştiği, "ivme" olarak tanımlanır. Bunu cismin kütlesi veya eylemsizlik katsayısı ile çarparsak kuvveti buluruz. Bu ise ölçülebilir. Örneğin, bir ipin ucuna bağlanmış bir taşı başımızın üstünde bir daire çizecek şekilde döndürürsek, ipi çekmemiz gerektiğini farkederiz.

Nedeni şudur: Taşın hızı sabit olmakla beraber, bir çember çizerek döndüğü için yönü değişmekte, bu nedenle de taşı sürekli içeriye doğru çeken bir kuvvet gerekmektedir; bu kuvvet de kütle ile orantılıdır. Şimdi iki ayrı taş alıp önce birini sonra diğerini döndürelim ve ikinci taş için gereken kuvveti ölçelim. Bu kuvvet, birinciden, kütlelerinin farklılığıyla orantılı olarak daha büyük olacaktır. Hızı değiştirmek için gereken kuvveti saptamak, kütleyi ölçmek için de bir yöntem oluşturur. Newton bundan bir başka sonuç daha çıkardı. Onu da basit bir örnekle açıklayalım: Eğer bir gezegen Güneş çevresinde bir çember boyunca gidiyorsa, onun *yana doğru, teğet boyunca gitmesi için hiçbir kuvvete gerek yoktur.* Eğer herhangi bir kuvvet olmasaydı başını alır giderdi. Ancak gezegen bunu yapmıyor; kuvvetin olmaması durumunda bir süre sonra gitmiş olacağı ta uzaklarda değil, Güneş'e yakın bir yerde bulunuyor (Şekil 3). Başka bir deyişle, hızı ve hareketi Güneş'e doğru sapıyor; yani meleklerin, kanatlarını sürekli Güneş'e doğru çırpmaları gerekiyor.



Şekil 3

Bir gezegenin düz bir doğru boyunca hareket etmesinin bilinen bir nedeni yoktur. Nesnelerin sonsuza dek gitmeyi sürdürmelerinin nedeni bulunamamıştır. Eylemsizlik kuramının da bilinen bir kökeni yoktur. Melekler gerçek olmasa da hareketin süregittiği bir gerçektir. Ancak, düşme olgusu için kuvvete gereksinim vardır ve kuvvetin kökeninin Güneş'e doğru olduğu da anlaşılmıştır. Newton eşit sürelerde eşit alan taranması kuramının, hızdaki bütün değişimlerin Güneş yönünde olduğu savının doğrudan bir sonucu olduğunu; bunun eliptik yörünge için de geçerli olduğunu göstermeyi başardı. Bir sonraki konuşmamda bunu daha ayrıntılı olarak açıklayacağım.

Bu yasayı kullanarak Newton, kuvvetin Güneş yönünde olduğunu ve eğer gezegenlerin periyotlarının Güneş'ten olan uzaklıklarıyla nasıl değiştiği bilinirse, bu kuvvetin uzaklık ile nasıl değiştiğinin de bulunabileceğini gösterdi ve kuvvetin, uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğunu saptadı.

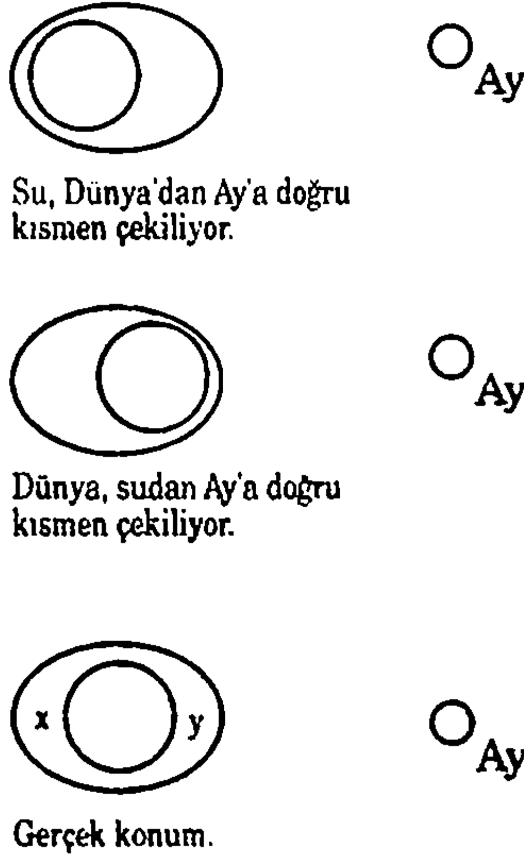
Buraya kadar Newton pek bir şey söylemiş sayılmaz; çünkü yalnızca Kepler'in ifade ettiği iki şeyi farklı biçimde dile getirmiş oluyordu. Birincisi, kuvvetin Güneş yönünde olduğunu söylemekle; İkincisi de, kuvvetin uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğunu söylemekle aynı şeydi.

İnsanlar Jüpiter'in uydularının Jüpiter çevresinde nasıl hareket ettiklerini teleskopla görmüşlerdi. Bu hareket tıpkı Güneş sisteminde olduğu gibiydi; sanki uydular Jüpiter'e doğru çekiliyorlardı. Ay da Dünya'nın çekimindedir; Dünya çevresinde döner ve Dünya'ya doğru çekilir. Sanki her şeyin birbirinin çekimi altındaymış gibi görünmesi bir sonraki kuramı; genelleme yapacak olursak her cismin her cismi çektiği yolunda olması sonucunu getirdi.

Eğer bu doğru ise, Güneş'in gezegenleri çektiği gibi, Dünya da Ay'ı kendisine doğru çekiyordu. Dünya'nın cisimleri çektiği bilinen bir şeydi - hepimiz havada uçmak istesek de iskemlemizde sıkı sıkı oturduğumuzu biliyoruz-. Yeryüzündeki çekim, yerçekimi olgusu olarak iyi bildiğimiz bir şeydir. Newton, Ay'ı yörüngede tutan çekimin, nesneleri Dünya'ya çeken kuvvetle aynı şey olabileceğini düşündü.

Ay'ın bir saniyede ne kadar yol aldığını bulmak zor değildir. Yörüngenin boyutunu biliyoruz; Ay'ın Dünya çevresini bir ayda dolaştığını da biliyoruz. Öyleyse, bir saniyede ne kadar yol aldığım hesaplayabiliriz. Buradan da Ay'ın, düz doğru boyunca gitmeyip yörünge boyunca gitmekle, düz doğrudan ne kadar aşağıda olduğu hesaplanabilir. Bu uzaklık bir inç'in[4] yirmide biri (0,127 cm) kadardır. Ay'ın, Dünya'nın merkezinden uzaklığı bizim merkezden uzaklığımızın altmış katıdır. Biz merkezden 4.000 mil[5] uzaktayken Ay, Dünya merkezinden 240.000 mil uzaktadır. Bu durumda ters kare yasası doğru ise, yeryüzündeki bir cisim saniyede 1/20 inç X 3.600 (60'ın karesi) kadar düşer. Çünkü kuvvet A/a gidene kadar ters kare yasasına göre 60 X 60 kat zayıflamıştır. 1/20 inç X 3.600 yaklaşık 16 foot (ft.)'tur.[6] Galileo'nun deneylerinden, cisimlerin saniyede 16 foot düştüğü bilinmekteydi. Bu, Newton'un doğru iz üzerinde olduğunu, geriye dönüş olmayacağını ortaya koyuyordu. Çünkü, Ay'ın yörüngesindeki periyodu ve Dünya'ya uzaklığı ile, Dünya'daki bir nesnenin düşerken bir saniyede ne kadar yol alacağı gibi birbirinden tamamen bağımsız iki olguyu birleştiren yepyeni bir şey bulunmuştu. Bu sonuç her şeyin doğru olduğunu gösteren çarpıcı bir sınavdı.

Daha sonra Newton birçok yeni şey ortaya çıkardı. Çekim yasasının ters kare olması durumunda yörüngenin şeklinin ne olacağını hesapladı ve bunu bir elips olarak buldu. Ayrıca birçok farklı olaya da açıklama getirildi. Bunlardan biri gel-git olayıydı. Gel-git, Dünya ve denizlerin Ay tarafından çekilmesinden kaynaklanıyordu. Bu, daha önceleri de düşünülmüştü; ancak ortada bir pürüz vardı: Olay, Ay'ın denizleri çekmesiden kaynaklanıyorsa Ay'ın bulunduğu taraftaki sular yükselecek, o zaman günde ancak bir gel-git olacaktı (Şekil 4). Gerçekte ise yaklaşık oniki saatte bir, yani günde iki gel-git olduğunu biliyoruz.



Şekil 4

Farklı bir sonuca varan bir düşünce ekolü daha vardı. Buna göre de Dünya, Ay tarafından suyun dışına çekiliyordu. Gerçekte ne olup bittiğini ilk farkeden Newton oldu: Ay'ın aynı uzaklıktaki kara ve denizler üzerindeki çekim kuvveti aynıydı. y'deki sular Ay'a Dünya'dan daha yakın, x'deki sular ise daha uzaktır. Dünya sıvı değil, katıdır. Bu nedenle, y'deki sular Ay'a Dünya'dan daha fazla, x'deki sular da daha az çekilir. Bu iki resmin bir çeşit bileşiminden görülebileceği gibi, iki gel-git olayı ortaya çıkar. Gerçekte Dünya da Ay gibi bir çember boyunca hareket eder. Ay'ın Dünya'ya uyguladığı kuvvet dengelenmiştir; ama dengeleyici nedir? Ay'ın Dünya'nın çekim kuvvetini dengelemek için dairesel bir yörünge üzerinde hareket etmesi gibi, Dünya da dairesel bir yörünge üzerinde hareket etmektedir. Bu dairenin merkezi Dünya'nın içinde bir noktadadır ve Ay'ın kuvvetini dengelemek için dairesel bir hareket yapmaktadır. İkisinin de ortak bir merkez etrafında dönmesiyle, Dünya açısından kuvvetler dengelenmiş oluyor; ancak, x'deki su daha az, y'deki su daha çok çekildiği

için su iki yanda kabarıyor. Herneyse, gel-git olayı ve günde iki kez gerçekleşmesinin nedenleri böylece açıklanmış oluyordu. Bu arada açıklanan daha birçok şey vardı: Dünya, her şey içe doğru çekildiği için yuvarlaktı; kendi ekseni etrafında döndüğü için de yuvarlak değildi. Dış bölgeler biraz uzağa itilmişlerdi ve denge oluşuyordu.

Bilim ilerleyip daha hassas ölçümler yapıldıkça Newton yasası da daha zorlu sınamalarla karşılaştı. Bunlardan ilki Jüpiter'in aylarıyla ilgiliydi. Uzun süre dikkatle yapılmış gözlemlerle hareketlerinin Newton yasasına uyumu saptanabilirdi. Ancak sonuç bunun doğru olmadığını gösteriyordu. Jüpiter'in ayları, Newton yasası ile hesaplanmış zamana göre, bazen sekiz dakika ileri, bazen de sekiz dakika geri olan bir fark oluşturuyorlardı. Bu fark Jüpiter'in Dünya'ya yakın olduğu zamanlarda ileri, uzak olduğu zamanlarda ise geriye doğruydu. Bu tuhaf bir durumdu. Yerçekimi yasasına güveni tam olan Roemer[7] , bu durumda, ışığın Jüpiter'in aylarından Dünya'ya gelmesinin zaman aldığı gibi ilginç bir sonuç çıkardı. Ayrıca, bu aylara baktığımız zaman gördüğümüz şey onların o andaki durumu değil, ışığın bize varması için geçen zamandan önceki durumuydu. Jüpiter bize yakın olduğunda ışık daha kısa sürede, uzak olduğunda ise daha uzun sürede varıyordu. Bu nedenle Roemer'in, gözlemleri zaman farkı yönünden şu kadar erken, bu kadar geç olmalarına göre düzeltmesi gerekiyordu. Bu yolla ışığın hızını ölçmeyi başarmış, ışığın bir anda yayılan bir şey olmadığını da ilk kez göstermiş oldu.

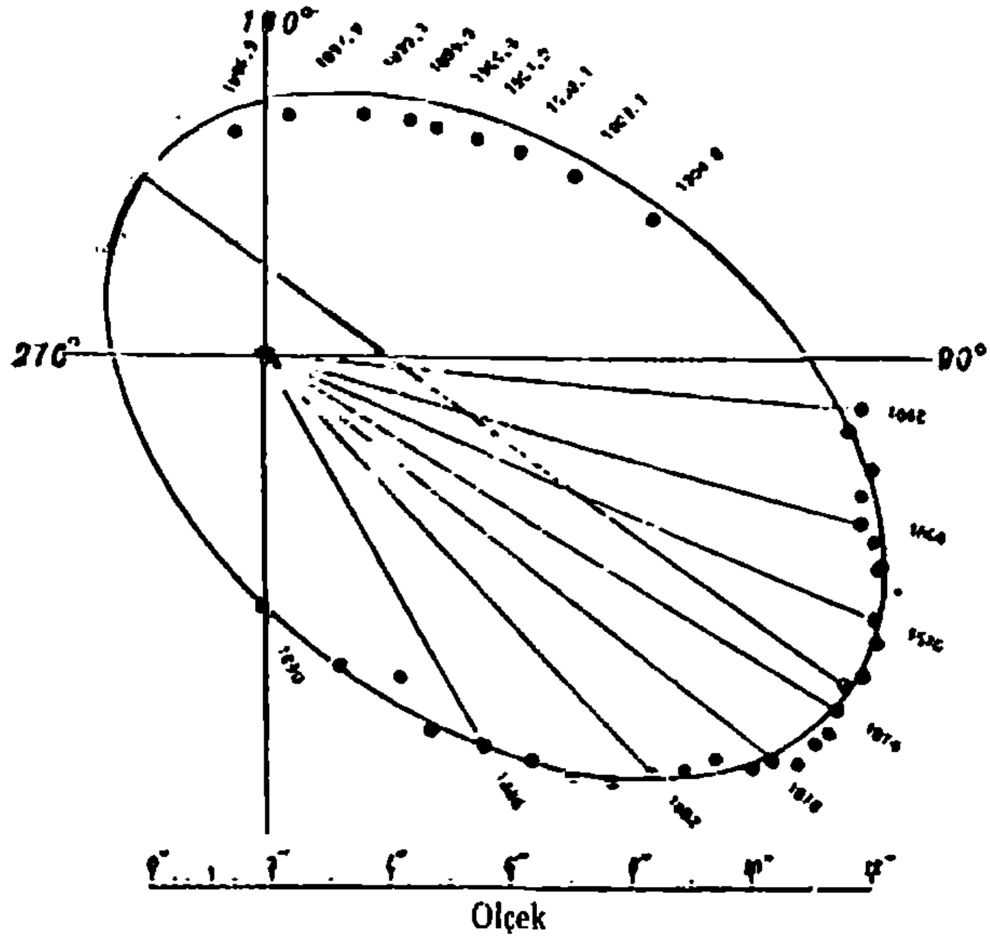
Bu noktaya özellikle dikkat çekmek istiyorum: Eğer bir yasa doğru ise başka bir yasanın bulunmasına da yol açabilir. Eğer bir yasaya güveniyorsak, ona ters bir şeyin ortaya çıkması bizi başka bir olguya doğru yöneltir. Yerçekimi yasasını bilmeseydik Jüpiter'in aylarından ne bekleyeceğimizi de bilemezdik; ışığın hızını ölçmek ise çok daha sonralara atılmış olurdu. Bu süreç adeta bir keşifler çağma yol açtı. Her yeni keşif, bir yenisine daha yol açan araçları da beraberinde getirir. Dört yüz yıldan beri süregelen ve büyük bir hızla sürmeye devam edecek olan bu çağ, işte bu şekilde başlamıştır.

Daha sonraları ortaya yeni bir sorun çıktı. Newton yasasına göre gezegenler yalnızca Güneş'in çekiminde değildi; birbirlerini de biraz çekiyorlardı. Öyleyse yörüngeleri eliptik olmamalıydı. Gerçi bu küçük bir çekimdi; ancak "küçük" olan da önem taşıyabilir ve hareketi etkiler. Jüpiter, Satürn ve Uranüs'ün büyük gezegenler oldukları biliniyordu. Her birinin

diğerleri üzerindeki çekimi sonucu, yörüngelerinin Kepler’in kusursuz elipslerinden ne ölçüde farklı olduğunu saptayacak hesaplar ve gözlemler yapıldı. Sonuçta Jüpiter ve Satürn’ün hesaplamalara uygun hareket ettikleri; Uranüs’ün ise, ‘tuhaf davrandığı ortaya çıktı. Newton Yasaları’nın hatalı olduğunu göstermek için bir fırsat daha... Ama sıkı durun! Adams ve Leverrier[8] adında iki şahıs birbirlerinden bağımsız olarak yaptıkları çalışmalar sonucunda, neredeyse aynı anda, Uranüs’ün hareketlerinin görünmeyen bir gezegenden etkilendiğini ileri sürdüler. Her biri kendi gözlemevine “Teleskobunuzu çevirin ve orayı gözleyin. Yeni bir gezegen göreceksiniz,” şeklinde birer mektup yolladılar. Gözlemevlerinden birinin tepkisi “Saçma! Eline kağıt-kalem alıp oturan biri, bize bir gezegen bulmak için nereye bakacağımızı söylüyor,” şeklindeydi. Diğer gözlemevi ise daha ... neyse, yöntemi farklıydı ve Neptün’ü buldu.

Daha yenilerde, 20. yüzyıl başlarında Merkür’ün hareketinin de tam ‘doğru’ olmadığı anlaşıldı. Einstein, Newton yasalarının biraz hatalı olduğunu ve değiştirilmeleri gerektiğini gösterinceye kadar bu durum hayli sıkıntıya neden oldu.

Şimdi de, bu yasanın kapsamının genişliği sorusu ortaya çıkıyor. Yasa, Güneş sistemi dışında da geçerli midir? Şimdi size, Resim 1 üzerinde, çekim yasasının Güneş sisteminin ötesini de kapsadığına ilişkin kanıt göstereceğim. Burada çift-yıldız dediğimiz bir şeyin üç ayrı fotoğrafım görüyoruz. Resimde, şans eseri üçüncü bir yıldız daha var. Bu da bize, astronomide kolayca yapılabileceği gibi birisinin çerçeveyi döndürmediğini, çift-yıldızın gerçekten döndüğünü gösteriyor. Yıldızlar gerçekten de dönüyorlar; izledikleri yörüngeyi Şekil 5’te görebilirsiniz. Birbirlerini çektikleri ve beklendiği gibi bir elips boyunca döndükleri açıkça belli. Şekildeki noktalar değişik zamanlarda, saat yönünde, art arda izledikleri konumlardır.



Şekil 5

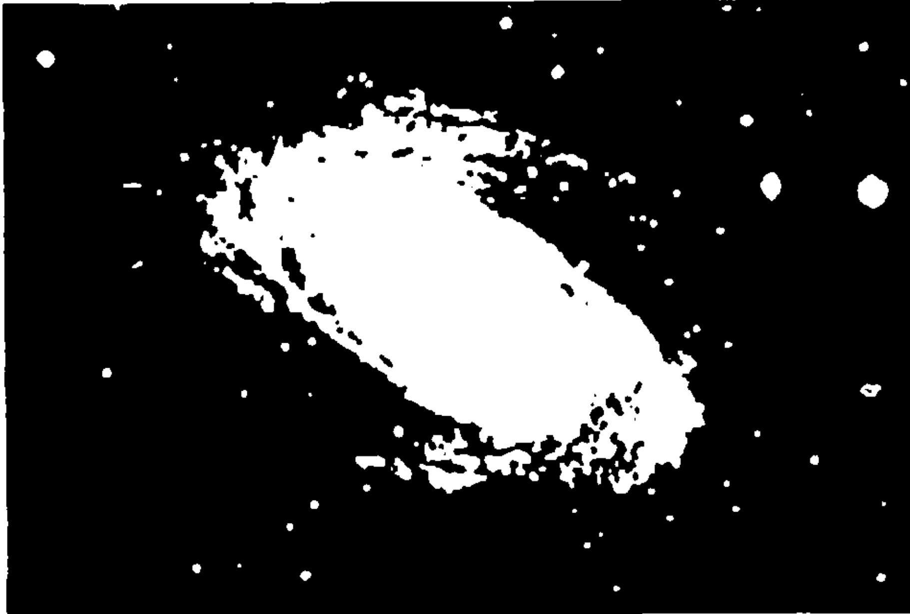

21 Temmuz 1908


Eylül 1915

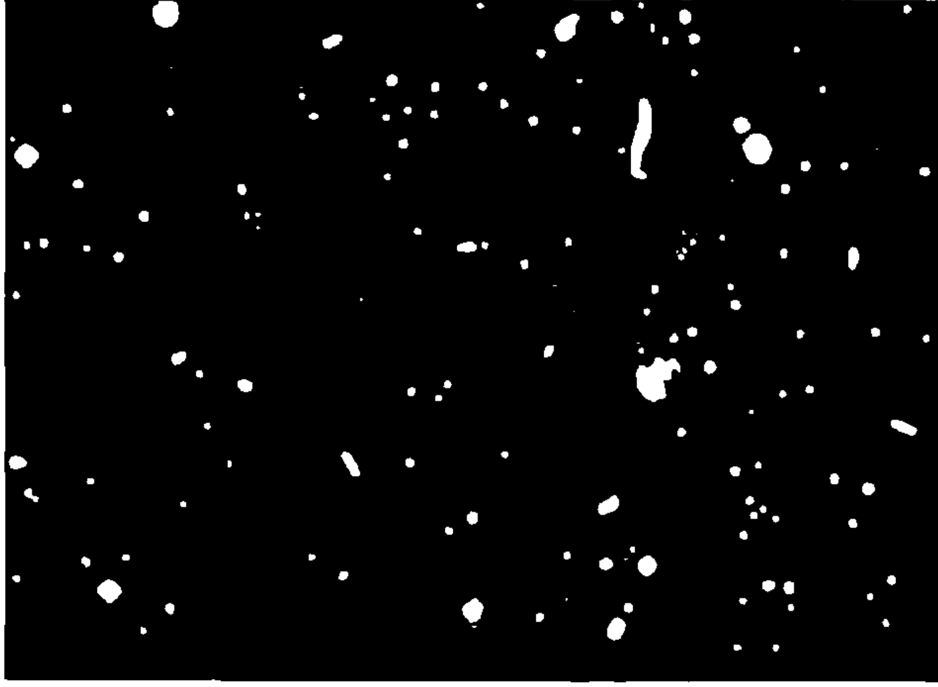

10 Temmuz 1920



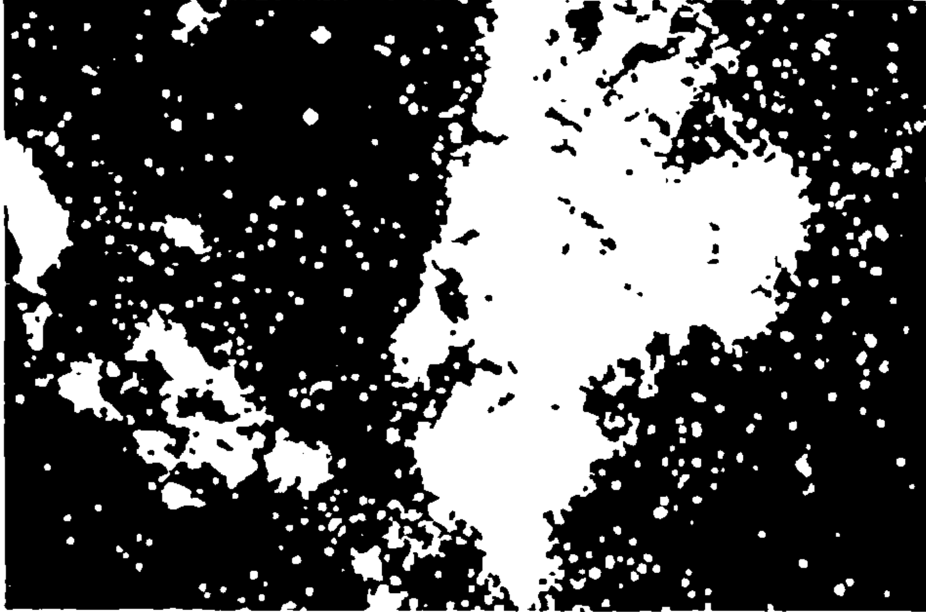
Resim 2 Küresel bir yıldızlar kümesi



Resim 3 Spiral galaksi



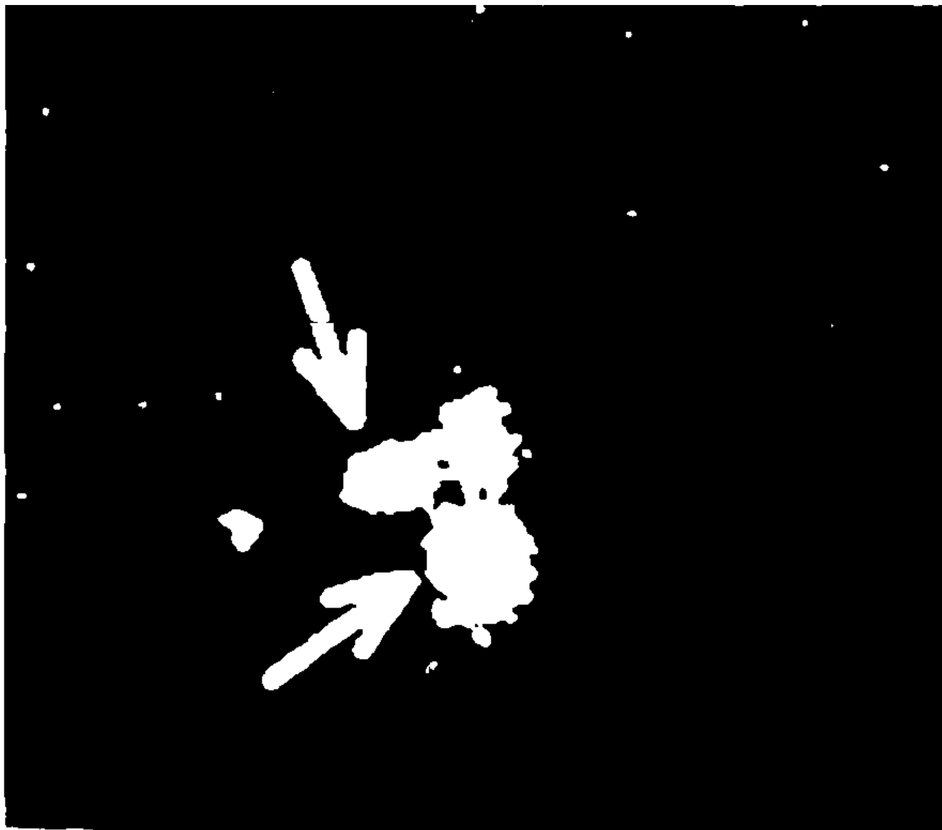
Resim *4* Bir galaksiler kümesi



Resim 6 Gaz halindeki bir nebula



1947



Resim 6 Yeni yıldızların oluşumuna ilişkin kanıtlar

Her şey yerinde; ancak, eğer daha önce dikkat etmediyseniz, merkezin elipsin odağında olmadığına, hayli ötede olduğuna dikkatinizi çekerim. Yasada bir yanlışlık mı var? Hayır, tanrı bize bu yörüngeyi tam karşıdan değil, değişik bir açıdan gösteriyor. Bir elipsin odağım işaretledikten sonra kağıdı rastgele bir açıda tutarsanız ve izdüşümsel olarak bakarsanız, odağın, izdüşümüne rastlamayabileceğim görürsünüz. Yörünge uzayda eğik olduğundan bu şekilde görünmektedir.

Daha büyük uzaklıklar için ne diyebiliriz? İki yıldız arasındaki bu kuvvet, Güneş sisteminin çapının iki-üç katı uzaklığın ötesinde de var mı? Resim 2'de, çapı Güneş sisteminin 100.000 katı olan ve çok büyük sayıda yıldızdan oluşmuş bir yıldızlar topluluğu var. Resimdeki beyaz leke tek bir beyaz leke olmayıp böyle görünmesinin nedeni, optik cihazların ayırım gücünün yetersiz kalmasıdır. Gerçekte bu büyük küresel küme içinde aşağı-yukarı, ileri-geri hareket eden, tıpkı öbür yıldızlar gibi birbirinden iyice uzakta, birbirine çarpmayan küçücük noktalar bulunuyor. Bu, gökyüzünde görülebilecek en güzel şeylerden biridir. Denizin dalgaları ve günbatımı kadar güzel... Galaksiyi bir arada tutan şey yıldızlar arasındaki çekim kuvvetidir. Maddenin dağılımı ve uzaklığın boyutu, yıldızlar arasındaki çekim kuvveti yasasının kabaca ne olduğunu bulmamıza olanak sağlamakta, sonuç ise ters kare yasası olarak çıkmaktadır. Bu ölçüm ve hesaplardaki duyarlılığın Güneş sistemindekine yakın bir ölçüde olması olanaksızdır.

Çekim kuvveti daha da ötelere uzanmaktadır. Resim 2'deki yıldız kümesi, Resim 3'te gösterilen tipik bir büyük galaksi içinde topluiğne başı kadar bir şeydir. Bunun da bir kuvvet tarafından bir arada tutulduğu ortada, ve akla en yakın gelen aday ise yine çekim kuvvetidir. Bu kadar büyük boyutlar sözkonusu olduğunda ters kare kuralının geçerliliğini ölçemiyoruz. Dünya'dan Güneş'e olan uzaklık sekiz ışık dakikası olduğu halde, bu galaksilerin uzunlukları 50.000-100.000 ışık yılıdır. Ancak, çekim kuvvetinin bu büyük yıldız yığınlarında, bu ölçüdeki uzaklıklarda bile geçerli olduğundan kuşkulanmak için bir neden yoktur. Resim 4, bu kuvvetin daha ötelere de uzandığının bir kanıtıdır. Bu resimde bir galaksiler kümesi gösterilmiştir. Galaksiler, yıldız kümelerine benzer bir küme oluşturmuşlardır; ancak burada kümelenen şeyler Resim 3'teki “koca bebekler"dir.

Çekim kuvvetinin varolduğunu doğrudan kanıtlayabileceğimiz uzaklık bu kadar; yani, evrenin büyüklüğünün onda biri veya yüzde biri kadar bir uzaklıktır. Buna göre, gazetelerde bir şeylerin dünyanın çekim kuvveti dışına çıktığına ilişkin haberler okusanız da, dünyadaki yerçekiminin kesin bir sonu yoktur. Bu yerçekimi, uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak giderek zayıflar; uzaklık iki katına çıkınca o da dört kat zayıflar ve böylece diğer yıldızların güçlü alanlarının karmaşasında kaybolur. Çevresindeki yıldızlarla birlikte başka yıldızları çekerek galaksi oluşturur, bu galaksi de diğer galaksileri çekip bir galaksiler kümesi oluşturur. Böylece Dünya'nın çekim alanı hiç bitmez; ancak belirli ve düzenli bir şekilde zayıflayarak belki de evrenin sınırlarına kadar gider.

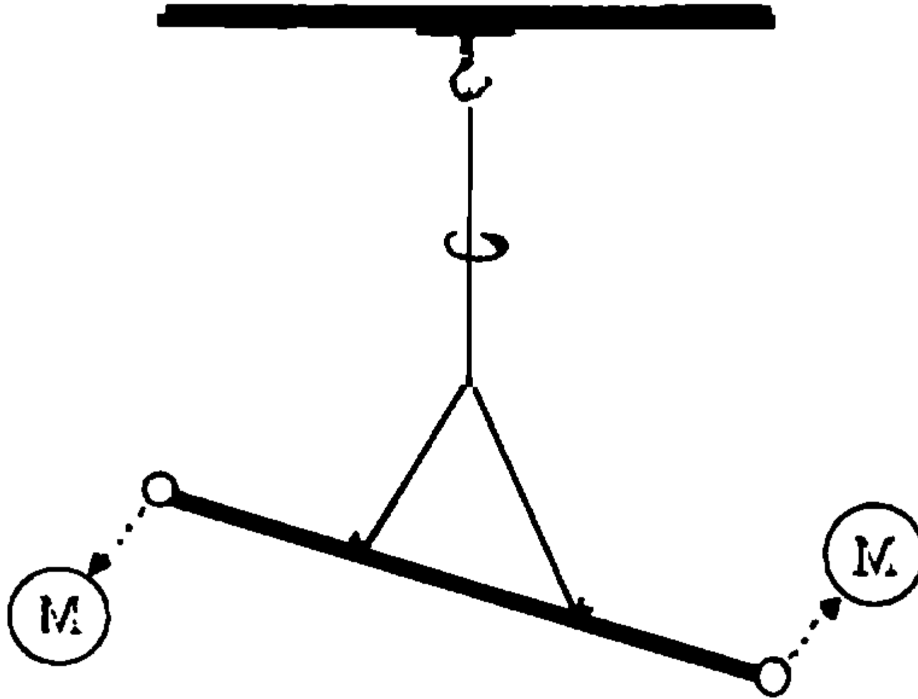
Çekim yasası diğer yasaların çoğundan farklıdır. Evrenin ekonomisi ve mekanizması için çok önemli olduğu açıktır ve evren yönünden birçok pratik uygulaması da vardır. Ancak, diğer fizik yasalarından farklı atipik bir özelliğe sahiptir: bilinmesi pek az pratik yarar sağlar. Fizik yasalarına örnek olarak yerçekimi yasasım seçmekle atipik özelliği olan bir örnek seçmiş oluyorum. Ancak, şunu da eklemeliyim ki, bir şeyler arasından tek bir şey seçerken, bir bakımdan atipik özelliği olmayan bir şey seçmek olanaksızdır. Bu, dünyanın gizemlerinden biridir. Yerçekimi yasası bilebildiğim kadarıyla, jeolojik maden aramalarında; gel-git olaylarının önceden bilinmesinde; daha yenilerde de uzaya giden uydu ve gezegen araştırma roketlerinin hareketlerinin daha modern bir şekilde hesaplanmasında; bir de, dergilerde yıldız falı yazanlar için gerekli olan, gezegenlerin konumlarına ilişkin hesapların yine daha modern bir şekilde yapılmasında kullanılmaktadır. Yaşadığımız dünya gerçekten inanılmaz bir dünya; bilimdeki gelişmeler yalnızca, 2.000 yıldır süregelen saçmalığın devam etmesine yaramaktadır.

Çekim yasasının evrenin davranışı üzerinde gerçekten etkili olduğu önemli şeylerden de söz etmeliyim. Bunların en ilginç olanlarından biri yeni yıldızların oluşumudur. Resim 5'te, galaksimiz içinde bulunan gaz halindeki bir nebula görüyoruz. Galaksiyi oluşturan, birçok yıldız değil, sadece gazdır. Siyah benekler gazın sıkıştın İmiş veya kendi içine doğru çekilmiş olduğu yerlerdir. Belki her şeyi başlatan, bir şok dalgası olmuştur. Bundan sonraki olaylar, çekim kuvvetinin etkisiyle gazın gittikçe sıklaşarak toplanması, büyük gaz ve toz yığınlarının ve topların oluşmasıdır. Bunlar içeriye doğru düşerken, düşmenin yol açtığı ısıyla yanar ve yıldız haline

gelirler. Resim 6’da yeni yıldızların oluşumu hakkında bazı kanıtlar görülmektedir.

Böylece yıldızlar, çekim etkisiyle gazın sıkışıp bir araya gelmesiyle ortaya çıkıyorlar. Yıldızlar bazen patladıklarında toz ve gaz püskürtür, bu toz ve gazlar tekrar bir araya toplanıp yeni yıldızlar yaratırlar (devridaim motorunu anımsatan bir süreç).

Çekimin büyük uzaklıklarda da varolduğunu daha önce göstermiştim. Ancak Newton, her şeyin her şeyi çektiğini söylemişti, iki cisim gerçekten birbirini çekiyor mu? Gezegenlerin birbirlerini çekip çekmediklerini bekleyip görmek yerine doğrudan bir deney yapabilir miyiz? Böyle bir deney Cavendish[9] tarafından, Şekil 6’da görülen malzeme ile yapıldı. Buna göre iki ucuna top şeklinde kütleler konulmuş bir çubuk, çok, çok ince bir kuvars telin ucuna asılıyor.



Şekil 6

Sonra da, şekilde görüldüğü gibi, iki büyük kurşun top, kütlelerin yanlarına konuluyor. Toplar arasındaki çekim telde küçük bir bükülmeye neden olacaktır. Normal cisimler arası çekim kuvveti çok azdır, iki top arasındaki bu kuvveti ölçmek mümkündür. Cavendish bu deneye “dünyanın tartımı’’ adını verdi. Şimdilerde uygulanan bilgece ve dikkatli eğitimin

sonucu olarak biz öğrencilerimize bunun yerine “dünyanın kütlesinin ölçümü”nden bahsederiz. Cavendish, doğrudan bir yöntemle kuvveti, iki kütleyi ve aralarındaki uzaklığı ölçmeyi; böylece de, yerçekimi sabiti G’yi bulmayı başardı. Şimdi Sizler “Yine aynı durumdayız; çekme kuvvetini, çekilen cismin kütlesini ve aradaki uzaklığı biliyoruz. Ama Dünya’nın kütlesini ve sabiti değil, sadece çarpımlarını biliyoruz,” diyeceksiniz. Sabit ölçüldükten sonra yerçekimi kuvveti hakkındaki bilgimiz kullanılarak Dünya’nın kütlesi bulunabilir.

Bu deney, dolaylı bir yolla, üstünde durduğumuz topun ne kadar büyük ve ne kadar ağır olduğunun ilk saptamasıdır. Bunu bulmak şaşırtıcı bir başarıdır ve sanırım bu nedenle Cavendish deneyine, “yerçekimi denklemindeki sabitin hesaplanması” yerine “dünyanın tartımı” adını verdi. Ayrıca bunu yapmakla Güneş’i ve başka her şeyi de tartmış oluyordu. Çünkü aynı yöntem Güneş’in çekim kuvveti için de geçerlidir.

Çekim yasası ile ilgili bir başka soru da çekimin gerçekten kütle ile orantılı olup olmadığıdır. Yani, çekim kuvvetinin kütle ile tam olarak orantılı olması; kuvvete tepkinin, kuvvet sonucu hareketin, hız değişimlerinin ise kütle ile ters orantılı olması.

Bu demek oluyor ki, kütleleri farklı iki cismin hızları çekim alanında aynı şekilde değişecektir; veya havası alınmış bir ortamdaki iki cisim, kütleleri ne olursa olsun, yere aynı şekilde düşecektir. Galileo’nun Pisa’nın eğik kulesinden yaptığı ünlü deney de budur. Bir örnekle açıklayacak olursak: İnsan yapısı bir uydunun içindeki bir cisim, dünya çevresinde uydu dışındaki bir cisim ile aynı yörüngede dönecek; havada yüzer gibi olacaktır. Kuvvetin kütle ile doğru orantılı ve etkilerin ters orantılı olması bu ilginç sonucu beraberinde getirmektedir.

Duyarlılık derecesi nedir? Bu husus 1809’da Eötvös[10] yakın zamanda da, daha büyük kesinlikle Dicke[11] tarafından saptanmış ve 10.000.000.000’da bir olarak bulunmuştur. Kuvvetler kütle ile tam olarak orantılıdır. Bu kadar duyarlı ölçümler nasıl yapılabiliyor? Diyelim ki, ölçümün Güneş’in çekimi için' doğru olup olmadığını ölçmek istiyorsunuz. Güneş’in hepimizi ve bu arada tabii Dünya’yı da kendisine doğru çektiğini biliyorsunuz. Ancak, bu çekimin eylemsizlik (inertia) ile tam olarak orantılı olup olmadığını bilmek istiyorsunuz. Deney ilk olarak sandal ağacı, daha sonra kurşun ve bakır kullanılarak yapıldı; şimdi de polietilen kullanılıyor. Dünya Güneş etrafında dönmektedir ve cisimler eylemsizlik nedeniyle

dışarı doğru fırlatılmaktadır. Bu fırlatılma iki cismin eylemsizlikleri ölçüsünde olmaktadır. Ancak çekim yasasına göre bu iki cisim, kütleleri ölçüsünde Güneş'e doğru da çekilmektedirler. Eğer Güneş'e doğru çekilmeleri, eylemsizliklerinden dolayı fırlatılmalarından farklı oranda olursa birisi Güneş'e doğru çekilirken diğeri Güneş tarafından itilecektir. Bu cisimleri Cavendish'in kuvars teline bağlı çubuğun iki ucuna koyarsak tel Güneş'e doğru bükülecektir. Ancak tel, bu ölçüde bir bükülme göstermemektedir. Öyleyse, Güneş'in bu iki cisme uyguladığı çekim, eylemsizlik dediğimiz merkezkaç (santrfüj) etkisiyle tam olarak orantılıdır. Bu nedenle, bir cisme uygulanan çekim kuvveti cismin eylemsizlik katsayısı, yani kütlesi ile tam olarak orantılıdır.

Özellikle ilginç olan bir şey var. Ters kare yasası başka yerlerde de karşımıza çıkıyor; örneğin elektrik yükleri, aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olan kuvvetler uygulamaktadır. Bu, insana, uzaklığın karesinin tersinin çok derin bir anlamı olabileceğini düşündürüyor. Ancak hiç kimse, elektrik ile yerçekiminin tek bir şeyin farklı yönleri olduğunu göstermeyi başaramamıştır. Günümüzde fizik teorileri, fizik yasaları birbirleriyle tam da uyumlu olmayan bir bölümler ve parçalar yığınıdır. her şeyin kendisinden mantıksal olarak çıkarılabileceği tek bir yapı bulunamamıştır. Elimizde yalnızca birbiriyle tam olarak uyuşmayan çok sayıda parça var. Bu nedenle de, bu konferanslarda sizlere fizik *yasasının* ne olduğu konusunda değil, çeşitli yasalarda ortak olan şeyler hakkında konuşmak zorundayım. Bunların aralarındaki bağlantıyı bilmiyoruz. Ancak, bazı şeylerin bu iki yasada da aynen bulunması çok şaşırtıcıdır. Elektrik yasasını tekrar ele alalım.

Kuvvet, uzaklığın karesi ile ters orantılıdır; ancak, ilginç olan, elektrik ve çekim kuvvetlerinin güçleri arasındaki muazzam farktır. Elektrik ve yerçekimini ortak bir yapıdan elde etmek isteyenler elektriğin yerçekiminden çok daha güçlü olduğunu göreceklerdir. Bu ikisinin aynı kökenden gelebileceğine inanmak güçtür. Bir şeyin diğerinden daha güçlü olduğu nasıl söylenebilir? Bu fark, ne kadar yük ve ne kadar kütle olduğuna bağlıdır. Yerçekiminin daha güçlü olduğunu göstermek için "Şu boyda bir topak alırsam" diyemezsiniz; çünkü boyutu siz saptamış oluyorsunuz. Eğer doğanın ürettiği bir şeyi ele almak istersek -doğanın pür sayılarının santimetrelerle, yıllarla, ya da bizim boyutlarımıza ait herhangi bir şeyle ilişkisi yoktur- bunu şöyle yapabiliriz: Elektron -farklı parçacıklar farklı sayılar verir; biz bir örnek vermek için elektronu seçiyoruz- gibi temel bir

parçacık seçeriz, iki elektron iki temel parçacıktır; elektrik nedeniyle, birbirlerini uzaklığın karesiyle ters orantılı olarak iterler.

İKİ ELEKTRON ARASINDA

$$\frac{\text{Yerçekimi kuvveti}}{\text{Elektriksel itme kuvveti}} = 1/4.17 \times 10^{42}$$

$$= 1/4.170.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000.000$$

Şekil 7

Soru: Yerçekimi kuvvetinin elektrik kuvvetine oranı nedir? Yanıt Şekil 7’de gösterilmiştir. Yerçekimi ile elektrik itimi arasındaki oran 42 rakama uzayan bir sayı ile verilmiştir. Burada çok derin bir sır saklıdır. Bu kadar büyük bir sayı nereden kaynaklanıyor? Bu iki kuvvetin de kaynaklandığı bir teoriniz olsa, bu iki kuvvet nasıl bu kadar orantısız olabilir? Böyle inanılmaz ölçüde orantısız iki kuvvet -biri çekme, biri itme kuvveti— ne tür bir denklemin çözümü olabilir?

İnsanlar, aralarındaki oranın bu ölçüde büyük olabileceği başka şeyler bulmaya çalıştı. Böyle büyük bir sayı aranıyorsa, örneğin evrenin çapı ile bir protonun çapı arasındaki oran ele alınabilirdi. Bunun da 42 rakamlı bir sayı olması inanılmaz bir şeydir. Bunun üzerine, bu oranın evrenin boyutu ile protonun boyutu arasındaki oran olduğu şeklinde ilginç bir tez öne sürüldü. Ancak evren zamanla genişlemektedir; öyleyse çekim sabiti de zamanla değişmektedir. Bu bir olasılıktır, fakat gerçek olduğunu gösteren hiçbir kanıt bulunamamıştır. Çekim katsayısının bu şekilde değişmediğine

işaret eden birtakım kısmi göstergeler vardır. Özetle bu muazzam sayı bir sır olarak kalmaktadır.

Yerçekimi teorisi konusunu bitirmeden önce iki şeyden daha söz etmek gerekiyor. Birincisi, Einstein'm çekim yasalarını kendi görecelik ilkeleri doğrultusunda değiştirmek zorunda kalmasıdır. İlkelerden birincisi 'x'in bir anda vuku bulamayacağını belirtiyordu. Halbuki Newton yasaları kuvvetin bir anda vuku bulduğunu söylüyordu. Einstein'ın Newton yasalarını değiştirmesi gerekiyordu. Ancak bu değişikliklerin etkisi çok azdı. Bunlardan biri, bütün kütlelerin düştüğü, ışığın enerji içerdiği, enerjinin de kütleye denk olduğu yolundadır. Buna göre ışık da düşer; bu da Güneş'e yakın olan ışığın sapması demektir ki, ışık gerçekten de sapmaktadır. Einstein'ın teorisinde çekim kuvveti de biraz değiştirilmiştir. Böylece yasa çok az ölçüde; Merkür gezegeninin hareketindeki küçük tutarsızlığı giderecek ölçüde değişmiştir.

Son olarak da, küçük ölçekler için geçerli olan fizik yasaları konusunda bir değişiklik gerekti; maddenin küçük ölçekte, büyük ölçekte geçerli olan yasalardan çok farklı yasalara tabi olduğu keşfedildi. Bu durumda ortaya şu soru çıkıyor: Yerçekimi yasası küçük ölçeklerde ne durumdadır? Buna, yerçekiminin kuantum teorisi diyoruz. Henüz yerçekiminin kuantum teorisi diye bir şey yoktur. Hem belirsizlik ilkeleri hem de kuantum mekaniği ilkeleri ile tutarlı olan bir teori bulmak konusunda tam başardı olunamamıştır.

Şimdi bana şöyle diyeceksiniz: "Evet, bize neler olduğunu anlattınız. Ancak yerçekimi nedir? Nereden kaynaklanır? Gezegenin Güneş'e bakıp, ne uzaklıkta olduğunu görüp, bunun karesinin tersini alıp, sonra da yasaya uygun olarak hareket etmeye karar verdiğini mi söylüyorsunuz?" Başka türlü ifade edeyim. Ben yasayı matematiksel olarak ifade ettim; ama mekanizması hakkında hiçbir şey söylemedim. Gelecek konuşmamda bunun nasıl yapılabileceğinden sözedeceğim; yani "Matematik ve Fizik Arasındaki İlişki"den.

Bu konuşmamın sonunda, çekim yasasının söz ettiğimiz diğer bazı yasalarla ortak olan özelliklerini vurgulamak istiyorum, ilk olarak, ifade ediliş tarzı matematikseldir; diğerleri de öyledir. İkincisi, tam-doğru değildir. Einstein onu değiştirmek zorunda kaldı; yine de tam-doğru olmadığını biliyoruz. Çünkü henüz bu haliyle kuantum teorisini kapsamıyor. Bunlar bütün diğer yasalarımız için de geçerlidir; hiçbiri tam-

doğru değildir. Her zaman gizemli olan bir sınır, her zaman uğraşmamız gereken bir şeyler vardır. Bu, doğanın bir özelliği olabilir veya olmayabilir; ancak, bugün bildiğimiz bütün yasalarda ortak olan bir özelliktir. Belki de yalnızca bilgi eksikliğinden kaynaklanmaktadır.

Çekim yasasının en çarpıcı özelliği basit olmasıdır. ilkelerini tam olarak belirtmek kolaydır; özünün değiştirilmesini gerektiren bir belirsizliği yoktur. Yalındır, bu nedenle de güzeldir. Etkilerinin basit olduğunu söylemiyorum; gezegenlerin hareketleri ve birbirleri üzerine uyguladıkları karşılıklı etkileşimden kaynaklanan düzensizlikler, çok karmaşık olabilen hesaplamalar gerektirir. Küresel bir yıldız kümesindeki yıldızların hareketlerini saptamak ise bizim becerimiz dışında bir şeydir. Etkileri çapraşık; ancak, ana model veya hepsinin temelindeki sistem basittir. Bu da bütün yasaların ortak bir özelliğidir. Gerçek etkileri karmaşık, kendileri ise basittir.

Son olarak, çekim yasasının evrenselliği ve çok büyük uzaklıklarda geçerli olması konusuna değineceğim. Newton, Güneş sistemini temsil eden Cavendish’in minyatür Güneş sistemi modelinin, yani iki top arasındaki çekimin, yüz trilyon kere büyütüldüğünde elde edilecek olan Güneş sisteminde de geçerli olacağını tahmin edebilmişti. Daha sonra, bunun yüz trilyon katı olan galaksilerin de aynı yasa uyarınca birbirlerini çektiğini görüyoruz. Doğa, modellerini yalnızca en uzun iplerle dokuduğu için dokumanın her bir küçük bölümü tüm halının düzenini açığa vurmaktadır.

Matematik ve Fizik Arasındaki Bağıntı

Matematik ve fiziğin uygulamaları düşünüldüğünde, büyük sayılar içeren karmaşık durumlarda matematiğin yararlı olacağı ortadadır. Örneğin, biyolojide bir virüsün bir bakteri üzerindeki etkisi konusu matematiksel olamaz. Bir mikroskopla baktığımızda minicik titrek bir virüsün acayip şekilli bir bakteriyi -hepsinin şekli farklıdır- bir noktasından yakaladığını görürüsünüz. DNA’sını belki ona aktarıyor, belki de aktarmıyordun Ancak

bu deneyi milyonlarca bakteri ve virüsle yaparsak, ortalamaları alarak virüsler hakkında çok şey öğrenebiliriz. Virüslerin bakteri içinde gelişip gelişmediklerini ve hangi türlerin hangi oranda ortaya çıktığını saptamak için matematiksel ortalamalar alır ve böylece genetik, mutasyon vb. konuları araştırabiliriz.

Daha önemsiz bir örnek olarak üzerinde satranç veya dama oynanan kocaman bir dama tahtası düşünelim. Tek bir hamlenin gerçekleşmesi matematiksel değildir. Kocaman bir tahtada bir sürü taşla oynanan bir oyunda en iyi hamlelerin analizi, veya iyi ve kötü hamlelerin analizi derin bir usavurma gerektirir. Bu da birilerinin daha önceden etraflıca düşünmüş olmasını içerir. Burada soyut uslamlama içeren bir tür matematik var demektir. Bir başka örnek de bilgisayarlarda devre açıp kapama işlemidir (switching).

Açık veya kapalı olabilen tek bir düğme varsa, matematikçiler işe matematiklerini karıştırmak isteseler de bunda matematiksel bir şey yoktur. Ancak, birbirleriyle içiçe bağlantılı tellerin bulunduğu çok büyük bir sistemde ne olup bittiğini bilmek için matematik gerekir.

Hemen şunu belirtmek isterim: Karmaşık durumlar söz konusu olduğunda, eğer oyunun temel kuralları biliniyorsa, olayların ayrıntılı bir incelemesini yapmak açısından, matematiğin fizik bilimi içinde çok büyük bir uygulama alanı vardır. Konumuz yalnızca matematik ile fizik arasındaki ilişki olsaydı zamanımın büyük bölümünü bunu açıklamak için harcardım. Fakat bu konu, fizik yasalarının nitelikleri hakkında verilen bir dizi konuşmanın sadece bir bölümü olduğu ve karışık durumlarda ne olacağını irdelemeye de zaman olmadığı için, şimdi başka bir konuya, temel yasaların nitelikleri konusuna geçeceğim.

Dama oyununu düşünürsek, temel yasalar taşların hangi kurallarla oynatılacağını kapsar. Karmaşık bir durumda, verilen bazı şartlar altında iyi bir hamlenin ne olacağını bulmak için matematik uygulanabilir; ancak, temel kuralların basit nitelikleri çok az matematik gerektirir. Kurallar günlük konuşma diliyle kolayca ifade edilebilirler.

Fizik için farklı olan, temel yasalar için yine matematiğe gereksinim duyulmasıdır. İki örnek vereceğim; birinde matematiğe gerçekte pek gerek yoktur, diğerinde ise vardır. Fizikteki Faraday yasasına göre, elektroliz sırasında açığa çıkarılan maddenin miktarı akım ve akımın geçtiği süre ile; yani açığa çıkarılan maddenin miktarı, sistemden geçen elektrik yükü ile

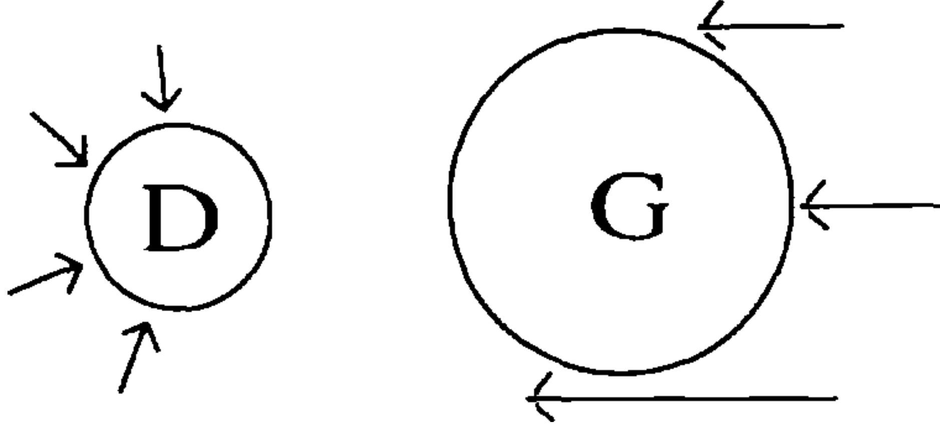
orantılıdır. Çok matematiksel görünen bir açıklama... Ancak gerçekte olan şudur: Telden geçen her elektron bir elektrik yükü taşımaktadır. Özel bir örnekle, bir atomluk bir madde için tek bir elektron geçmesi gerektiğini varsayalım. O zaman açığa çıkarılan atom sayısının telden geçen elektron sayısına eşit olması gerekir; böylece de telden geçen elektrik yükü ile orantılı olur. Bu matematiksel görünen yasa temelde çok derin bir şey içermiyor ve hiçbir matematik bilgisi gerektirmiyor. Her atom için bir elektron gerektiği gerçeği belki matematikseldir; fakat burada söz ettiğim, bu türden bir matematik değildir.

Şimdi de, özelliklerinden daha önce bahsetmiş olduğum, Newton’un çekim yasasına bakalım. Matematiksel sembollerin bilgi aktarmadaki hızını vurgulamak için size şu denklemi yazmıştım:

$$F=G\frac{mm'}{r^2}$$

Kuvvetin iki cismin kütlelerinin çarpımı ile orantılı, uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğunu ve cisimlerin kuvvete karşı tepkilerini hız değiştirerek; veya hareketlerini kuvvet doğrultusunda, kuvvetle doğru orantılı, kütlelerle ters orantılı olarak değiştirerek gösterdiklerini söylemiştim. Bunlar sözcüklerdir; denklem yazmayı gerektirmezler. Yine de bir bakımdan matematikseldirler ve ne nedenle temel bir yasa oluşturduklarını merak ederiz. Gezegen ne yapıyor? Güneş'e bakıp, ne kadar uzakta olduğunu görüp, içindeki bir hesap makinasını kullanarak uzaklık karesinin tersini alıp ne kadar yol alması gerektiğini mi buluyor? Yerçekimi mekanizmasının açıklaması bu olamaz. Daha ötesini bilmek isteyebilirsiniz; birçok kişi de istedi. Başlangıçta Newton, teorisi konusunda sorgulanmıştı: “Ama bu bir şey ifade etmiyor; bize bir şey anlatmıyor.” O da “Size *nasıl* hareket ettiğini söylüyor; bu yeterli olmalı. Ben de size *nasıl* hareket ettiğini söyledim, *neden* öyle olduğunu değil,” yanıtını vermişti. Ancak, insanlar işin temelini bilmeden her zaman tatmin olmuyor. Ben size duymak istediğiniz türden bir yanıt vermek için oluşturulan teorilerden bir örnek seçeceğim. Bu teori çekim etkisinin fazla sayıda olgu sonucu ortaya çıktığını ileri sürüyor ve neden matematiksel olduğunu açıklıyor.

Dünya'nın her yerinde büyük bir hızla uçan birçok parçacığın varolduğunu varsayalım. Her yönden eşit olarak geliyorlar ve arada bir bize çarpıyorlar. Biz ve Güneş onlar için hemen hemen saydamız; ancak, hemen hemen, yani tam olarak değil. Bazıları gelip bize çarpıyor. Ne olduğuna bir gözatalım (Şekil 8).



Şekil 8

D Dünya'yı G de Güneş'i gösteriyor. Güneş orada olmasaydı parçacıklar Dünya'yı her yönden bombardımana tutuyor olacak; çarpan parçacıklar ufak tefek patırtılara tıkırtılara neden olacaktı. Bu itiler her yönden geldikleri için Dünya'yı herhangi bir yönde sarsmayacaklardı. Ancak, Güneş orada olduğundan, o yönden gelen parçacıklar Güneş'e çarptıkları için Dünya'ya gelemeyecek, kısmen Güneş tarafından emilecektir. Bu nedenle, Dünya'ya Güneş yönünden gelenler bir engelle, yani Güneş'le karşılaştıklarından, diğer yönlerden gelenlerden sayıca daha az olacaklardır. Güneş ne kadar uzakta ise, her yönden gelen parçacıkların da o kadar daha küçük bir bölümü engellenecektir. Güneş, gerçekten ters kare ile orantılı olarak daha küçük görünecektir. Bu nedenlerle Dünya üzerinde Güneş'e doğru, uzaklık karesinin tersiyle orantılı bir itme kuvveti oluşacaktır. Bu kuvvet çok sayıdaki çok basit etkilerin, birbiri ardına gelen çarpmaların sonucudur. Bunlar düşünüldüğünde matematiksel bağlantının tuhaflığı hayli azalmış oluyor. Çünkü temel işlev, uzaklığın tersinin karesini hesaplamaktan çok daha basittir. Hesaplamaları yapan, parçacıkların zıpladığı bir düzenin kendisidir.

Ancak bu açıklamanın tek kusuru, birtakım nedenlerden dolayı geçerli olmaması. Öne sürdüğümüz her teorinin, başka neleri öngördüğünü anlamak için, *bütün* olanaklı sonuçları yönünden incelenmesi gerekir. Bu

teorinin yol açtığı bir başka şey var. Eğer Dünya hareket halinde ise ön tarafına, arkasına oranla daha fazla parçacık çarpacaktır (Yağmurda koştuğunuzda yüzünüze, başınızın arkasına göre daha fazla yağmur çarpar; çünkü yağmura karşı koşuyorsunuz). Bunun gibi, dünya hareket ediyorsa kendisine yönelik parçacıkların içine doğru, arkadan izleyen parçacıklardan uzağa doğru gider. Ön tarafına, arkasından daha çok parçacık çarptığı için harekete karşı bir kuvvet oluşur. Bu kuvvet Dünya'nın yörüngesi üzerindeki hareketini yavaşlatır. O zaman da Dünya, Güneş çevresindeki yörüngesinde üç veya dört milyar (en az) yıl boyunca kalamazdı. Bu da teorinin sonu demek oluyor. Şimdi bana "Neyse, iyi bir teoriydi; beni bir süre matematikten kurtardı. Belki ben daha iyisini bulabilirim," diyebilirsiniz. Belki de bulabilirsiniz; çünkü kesin sonucu kimse bilmiyor. Ancak, Newton'dan bugüne kadar hiç kimse bu yasanın gerisinde yatan matematiksel mekanizma yerine geçebilecek, aynı"şeyleri dile getirmeyen, matematiği zorlaştırmayan, ya da sonuçları bazı olaylarla çelişmeyen teorik bir anlatım bulmayı başaramamıştır. Sonuç olarak, çekim yasası için matematiksel olmayan bir model bulunamamıştır.

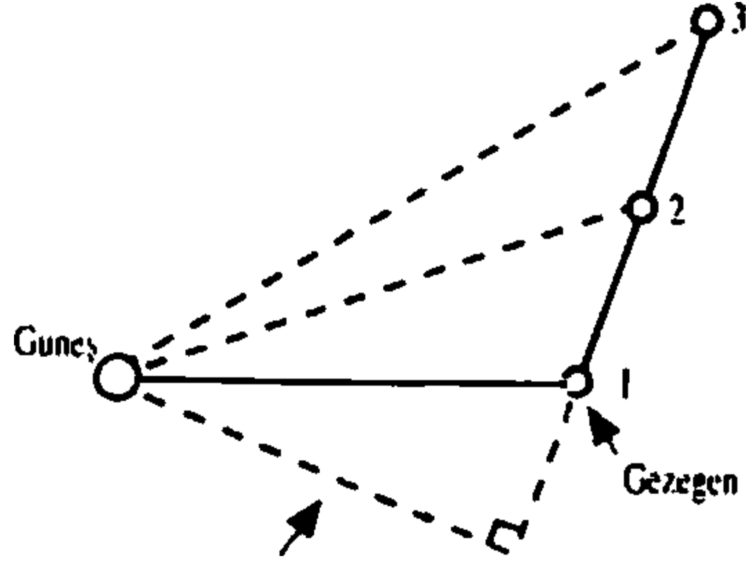
Eğer bu özelliği taşıyan tek yasa bu olsaydı, ilginç ama biraz can sıkıcı olurdu. Ancak, gerçek şudur ki daha fazla araştırıp, daha çok yasa keşfedip, doğaya daha derinden baktıkça, bu hastalığın daha yaygın olduğu ortaya çıkıyor. Yasalarımızın her biri, oldukça karmaşık ve anlaşılması güç matematik içeren matematiksel ifadelerdir. Newton'un çekim yasasının ifadesi nisbeten basit matematiktir. Daha ötelere gittikçe ifadeler daha zor ve karmaşık bir şekil alır. Niçin? Hiçbir fikrim yok. Sadece, bu duruma dikkatinizi çekmek istiyorum. Konuşmamın ağırlık noktası da budur: Doğanın güzelliklerinin, derin bir matematik anlayışı olmayan kimselerin duyumsayabileceği bir şekilde açıklanamayacağını vurgulamak istiyorum. Üzgünüm, ama durum böyle görünüyor.

Şunu söyleyebilirsiniz: "Pekala, yasanın bir açıklaması yoksa hiç olmazsa yasanın ne *olduğunu* açıklayın. Semboller yerine sözcüklerle anlatamaz mısınız? Matematik sadece bir dildir; ben çevirisini yapabilmek isterim." Biraz sabırla bunu gerçekleştirebilirim; kısmen de gerçekleştirdim zaten. Biraz daha ileriye giderek daha ayrıntılı bir açıklama yapar, denklemin, uzaklığın iki kat olması durumunda kuvvetin de dörtte bir olacağı anlamına geldiğini falan söyleyebilirim. Bütün sembolleri de sözcüklere dönüştürebilirim. Yani, oturmuş benim bir şeyler açıklamamı umutla bekleyen sıradan insanlara karşı daha anlayışlı davranabilirim. Bu

soyut ve karışık yasaları sıradan insana, sıradan bir insanın diliyle açıklama konusunda ustalığını denemiş kişiler çok farklı ünlere sahiptirler. Sıradan insan bu kitapları bir bir deneyerek sonunda mutlaka karşısına çıkacak olan zorlukları içermeyen bir kitap bulmaya çalışacaktır. Okudukça, giderek artan bir karmaşa, art arda gelen karışık ifadeler, birbiriyle bağlantısız görünen ve anlaması zor şeylerle karşılaşacaktır. Bir açıklama bulmak umuduyla belki bir başka kitaba sarılacaktır. Bu yazar neredeyse başarıyordu, belki bir başkası gerçekten başarır...

Ancak bunun mümkün olduğunu sanmıyorum. Çünkü matematik sadece bir başka lisan değil, bir dil artı usavurmadır; bir dil artı mantık gibi bir şey, bir muhakeme aracı. Daha doğrusu, bir insanın dikkatle düşünmesi ve muhakeme etmesi sonucu oluşan bir birikimdir. Matematik sayesinde bir ifade ile bir diğeri arasında bağlantı kurulabilir. Örneğin, kuvvet Güneş'e doğrudur diyebilirim. Ayrıca daha önce söylediğim gibi, eğer Güneş'le gezegen arasında bir doğru çizersem ve üç hafta gibi belirli bir süre sonra bir başka doğru çizersem; gezegenin taradığı alanın üç hafta sonra, ondan sonraki üç hafta sonra, vs. tarayacağı alanlarla aynı olacak şekilde hareket ettiğim söyleyebilirim. Bu iki ifadede söylediklerimi dikkatle açıklayabilirim; ama ikisinin neden aynı şey olduğunu açıklayamam. Doğanın, her biri dikkatle açıklanmış bir sürü tuhaf kural ve yasalarla ortaya çıkan muazzam çapraşıklıkları gerçekte birbiriyle çok içiçedir. Eğer matematik istemiyorsanız, çeşitli olguların birinden öbürüne geçmenin ancak mantıkla gerçekleştiğini de göremezsiniz.

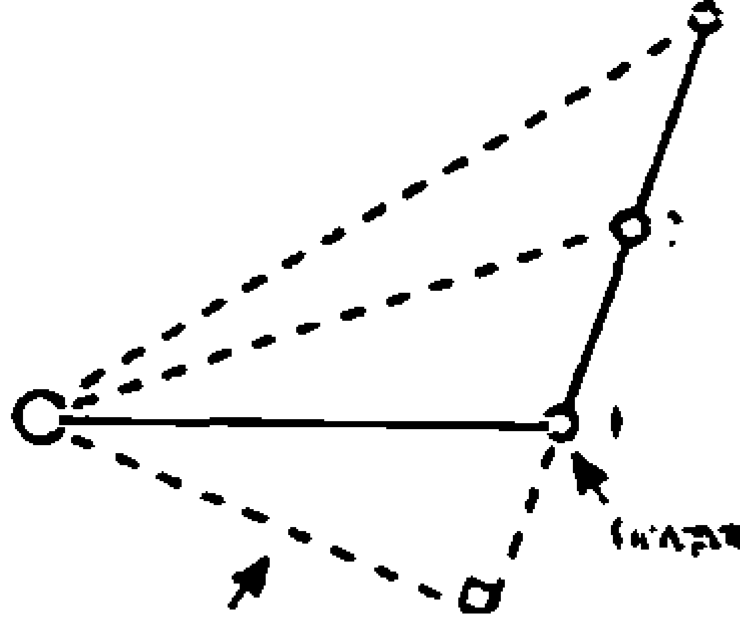
Eğer kuvvetler Güneş'e doğru ise, eşit zaman aralıklarında eşit alanların tarandığını gösterme size inanılmaz gelebilir, izin verirseniz, şimdi size bu iki şeyin birbirine denk olduğunu nasıl kanıtlayacağımızı açıklayacağım. Böylelikle yasaların ifadelerinden daha fazlasını kavramış olacaksınız. Size iki yasanın bağlantılı olduğunu, birinden öbürüne yalnız uslamlama yoluyla geçilebildiğini, ve matematiğin sadece örgütlenmiş usavurma olduğunu göstereceğim. O zaman yasaların ifadeleri arasındaki bağıntının güzelliğini de göreceksiniz. Şimdi size kuvvetlerin Güneş'e doğru olması durumunda eşit sürelerde eşit alanların tarandığını kanıtlayacağım.



Üçgenlerin ortak yüksekliği

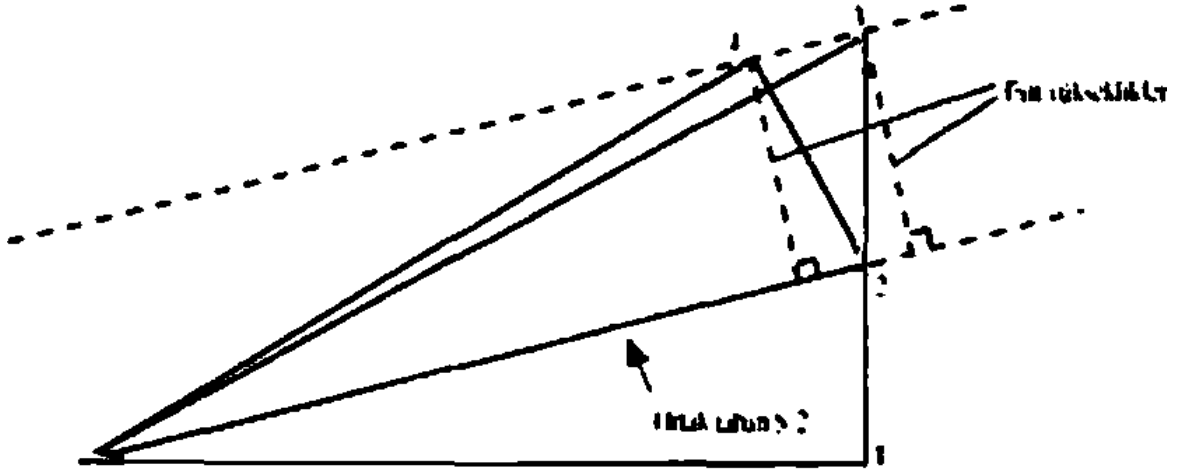
Şekil 9

Bir güneş ve bir gezegen ele alıyoruz (Şekil 9) ve gezegenin belirli bir anda 1. konumda olduğunu varsayıyoruz. Bir saniye sonra 2. konumda olacak şekilde hareket ediyor. Eğer güneş gezegen üzerine bir kuvvet uygulamazsa, Galileo'nun eylemsizlik ilkesine göre, gezegen doğru boyunca durmadan gider. Böylece, aynı zaman aralığında, yani bir sonraki saniyede, aynı doğru üzerinde, eşit uzaklıkta yol alarak 3. konuma gelir. Önce hiçbir kuvvet olmaması durumunda eşit alanların tarandığını göstereceğiz. Üçgen alanının, tabanının yansıyla yüksekliğin çarpımı, yüksekliğin de tabana olan dik uzaklık olduğunu hatırlayalım. Eğer üçgen geniş açılı ise (Şekil 10) yükseklik AD onun dik uzaklığı, BC de tabanıdır.



Şekil 10

Şimdi Güneş'in hiçbir kuvvet uygulamaması halinde taranacak alanları karşılaştıralım (Şekil 9). Hatırlarsanız 1-2 ve 3-4 aralıkları eşitti. Acaba alanlar da eşit midir? Güneş ile 1 ve 2 noktalarının oluşturduğu üçgeni ele alalım. Bu üçgenin alanı nedir? Alan, 1-2 tabam ile tepe noktası S'den tabana olan dik uzaklığın yansının çarpımı kadardır. 2'den 3'e hareket sonucu elde edilen öbür üçgen için ne diyebiliriz? Onun alanı da 2-3 tabam ile S'ye olan dik uzaklığın yansının çarpımına eşittir. İki üçgenin yükseklikleri aynıdır; söylemiş olduğum gibi tabanları da aynıdır; bu nedenle de alanları aynıdır. Buraya kadar her şey tamam. Eğer Güneş kuvvet uygulamasaydı eşit sürelerde eşit alanlar taranırdı. Ancak, Güneş'ten gelen bir kuvvet *vardır.* 1-2-3 aralığında Güneş çekim uygulamakta ve değişik yönlerdeki hareketi hep kendisine doğru çekmektedir. İyi bir yaklaşıldık elde etmek için 2'yi merkez veya ortalama konum olarak alacağız ve 1-3 aralığındaki toplam etkinin, hareketi 2-S doğrultusunda bir miktar saptırdığını söyleyeceğiz (Şekil 11).



Şekil 11

Şöyle açıklayabiliriz: Kütleler 1-2 doğrusu üzerinde hareket ettikleri ve kuvvet olmasaydı bir sonraki saniyede de aynı doğru üzerinde hareket edecek oldukları halde, Güneş'in etkisiyle, hareket 2-S doğrusuna paralel bir yönde değişmiştir. Onu izleyen hareket, gezegenin yapmak istediği ile Güneş'in etkisiyle oluşan değişimin bir birleşimi olacaktır. Böylece gezegen 3 konumu yerine 4 konumuna gidecektir. Şimdi 23S ve 24S üçgenlerinin alanlarını karşılaştıracağız ve ben size bunların eşit olduklarını göstereceğim. Bu üçgenlerin tabanları aynıdır: S-2 Yükseklikleri de aynı mıdır? Elbette; çünkü, paralel doğrular arasındadırlar. 4'ten S-2 doğrusuna olan uzaklık 3'ten S-2 doğrusunun uzantısına olan uzaklığa eşittir. Demek ki S24 ile S23 üçgenlerinin alanları aynıdır. Daha önce de S12 ve S23 alanlarının eşit olduğunu ispatlamıştım; öyleyse, S12 = S24 olduğunu biliyoruz. Böylece gezegenin, yörüngesi üzerindeki gerçek hareketinde birinci saniye ile ikinci saniyede eşit alanlar taranmıştır. Bu nedenle, usavurma yolu ile, kuvvetin Güneş'e doğru olmasıyla alanların eşit olması arasındaki ilişkiyi bulmuş oluyoruz. Ne basit değil mi?! Doğrudan Newton'dan alıntı yaptım. Resimler dahil her şey *Princi*pia'dan alınmıştır. Yalnız işaretler farklıdır; o Romen rakamları kullandı, ben ise Arap rakamlarını.

Newton'un kitabında verdiği bütün ispatlar geometriktir. Artık bu muhakeme yolunu kullanmıyor, sembollerden yararlanarak analitik yolla muhakeme ediyoruz. Doğru üçgenleri çizmek, alanlarını bulmak, bütün bunların nasıl yapılacaklarını düşünmek yaratıcılık gerektirir. Bu arada

analiz yöntemleri gelişmiş, daha süratli ve verimli olmuşlardır. Şimdi size bunun nasıl bir şey olduğunu matematiğin sembolleriyle göstermek isterim; işlemlerde bir takım sembollerden başka bir şeye gereksinim olmayacak.

Alanın ne hızla değiştiğinden söz etmek istiyorum; onu da Â ile gösteriyorum. Yarıçap döndüğü zaman alan değişir ve alanın ne hızla değiştiği, hızın yarıçap doğrultusundaki bileşeni ile yarıçapın çarpımı olarak hesaplanır. Bu, radyal uzaklığın bileşeni ile hızın veya uzaklığın değişme hızının çarpımıdır.

$$\dot{A} = \vec{r} \times \dot{\vec{r}}$$

Şimdi soru, alanın kendi değişme hızının değişip değişmediğidir, ilke, alanın değişme hızının sabit olmasıdır. Bunun tekrar türevini alırız; yani, gerekli yerlere bazı noktalar koyma oyunu oynarız. Bu işlerde çok yararlı olduğu anlaşılmış bir dizi kurallardan oluşan bu oyunu öğrenmemiz gerekir. Şöyle yazıyoruz:

$$\ddot{A} = \dot{\vec{r}} \times \dot{\vec{r}} + \vec{r} \times \ddot{\vec{r}} = \vec{r} \times \vec{F}/m$$

İlk terim hızın, hıza dik doğrultusunda bileşenini almamızı söylüyor. Bu sıfırdır; hız kendisi ile aynı yöndedir, ikinci türev olan ivme r, veya hızın türevi ise, kuvvet bölü kütledir. Bu ifade bize alanın değişme hızının, kuvvetin yarıçapa dik doğrultudaki bileşkesi olduğunu söylüyor. Ancak, kuvvet yarıçap doğrultusunda ise,

$$\ddot{r} = \vec{F}/m = 0 \text{ veya } \ddot{A} = 0$$

Newton da bunu söylemişti; yarıçapa dik bir kuvvet yoktur; demek ki alanın değişme hızı sabittir.

Bu bize farklı bir notasyonla yapılan bir analizin gücünü göstermektedir. Newton biraz daha değişik bir notasyon ile bunu yapmayı az çok biliyordu. Ama çalışmalarını herkesin okuyabilmesini sağlamak için onları geometrik olarak yazdı. Az önce kullandığım matematik olan kalkülüsü icat eden odur.

Bu örnek matematiğin fizikle olan ilişkisini çok güzel gösteriyor. Fizikteki problemler çok zor bir duruma gelince matematikçilere yöneliriz; onlar böyle şeyler üzerinde çalışmış ve izlememiz gereken düşünce tarzını önceden hazırlamış olabilirler. Öte yandan, bu yapılmamış da olabilir. O zaman kendi düşünce doğrultumuzu biz bulur, sonra da onu matematikçilere aktarırız. Herhangi bir şey üzerinde inceden inceye düşünmüş olan bir kimse, o konuda neler olup bittiğine ilişkin bilgi birikimine bir katkıda bulunuyor demektir. Bunları özetleyip Matematik Bölümü'ne gönderirse, bu bilgiler matematiğin yeni bir konusu olarak kitaplara geçer. Demek oluyor ki, matematik birtakım ifadelerden diğerlerine geçme yoludur. Bunun fizik için olan yararlılığı ortadadır. Çünkü, nesneler hakkında konuşmanın çeşitli yolları vardır; matematik de bize sonuçları geliştirmek, durumları analiz etmek ve değişik ifadeler arasında bağlantı kurmak üzere yasalarda bazı değişiklikler yapma olanağı sağlar. Gerçekte fizikçilerin bildiği şeyler pek fazla değildir. Bir noktadan başka bir noktaya gitmeyi *sağlayan* kuralları hatırlamaları yeterlidir. Çünkü eşit süreler, kuvvetlerin yarıçap yönünde olması, vb. hakkındaki bütün ifadeler uslamlama yoluyla birbirleriyle bağlantılı hale gelirler.

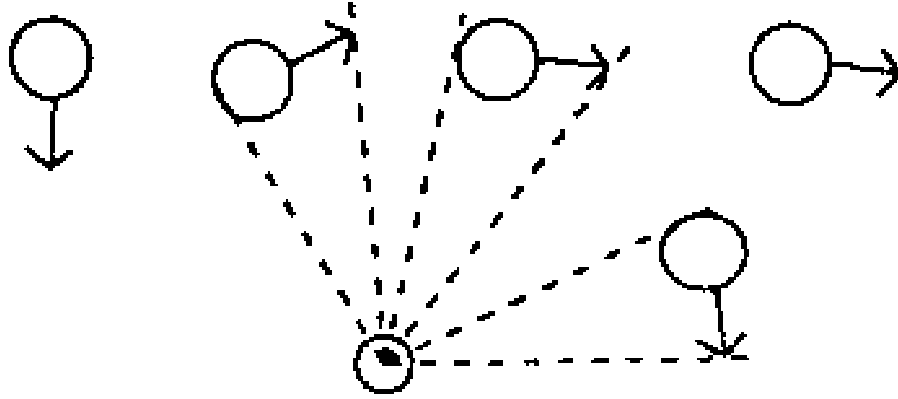
Şimdi ilginç bir soru ortaya çıkıyor. H er şeyi mantık yoluyla çıkaracağımız bir konum var mi? Bazı ifadelerin temel nitelikte, bazılarının da sonuç olduklarını anlamamızı sağlayabilecek özel bir doğa kalıbı veya düzeni var mı? Matematiğe iki değişik bakış açısı bulunmaktadır. Ben bu konferanslar dizisinde bunlardan Babil geleneği ve Eski Yunan geleneği olarak sözedeceğim. Babil matematik ekolünde öğrenci bir şeyi, genel kuralı farkedinceye kadar çok sayıda örnek çözerek öğrenirdi. Epeyce de geometri bilirdi; dairelerin çeşitli özellikleri, Pythagoras teoremi, küp ve üçgenlerin alan formülleri konularında da bilgi sahibi olması gerekliydi. Buna ek olarak, bir konudan bir başkasına geçmesini sağlayan irdeleme tekniği vardı. Ayrıntılı denklemleri çözmesine yardımcı olacak sayısal niceliklerle ilgili cetveller de mevcuttu. Hesaplamalar için gerekli her şey hazırdı. Ancak Euclid, pek basit bir dizi aksiyomdan bütün geometri teoremlerinin elde edilmesini sağlayan bir yöntem keşfetti. Babil matematiği dediğim şeyde, birçok teoremi ve aralarındaki bağlantıların çoğunu biliyorsunuz; ama bütün bunların bir demet aksiyomdan çıkarılabileceğini tam olarak algılamıyorsunuz. En yeni matematik, aksiyomlar ve çok kesin olarak belirlenmiş kurallarla, nelerin aksiyom olarak kabul edilebilir, nelerin kabul edilemez olduğu konusunda

yoğunlaşmaktadır. Modem geometri, daha kusursuz kılmak için biraz değiştirdiği Euclid aksiyomlarından yola çıkıp, bütün sistemin nasıl elde edilebileceğini gösteriyor. Örneğin, Pythagoras'ın teoremi (bir dik üçgenin iki kenarına çizilen karelerin alanları toplamının hipotenüs üzerindeki karenin alanına eşit olması) gibi bir teoremin aksiyom olması beklenemez. Buna karşın geometriye farklı bir bakış açısından, Descartes'ın bakış açısından Pythagoras teoremi bir aksiyomdur.

Öyleyse ilkönce matematikte bile farklı noktalardan yola çıkabileceğimizi kabul etmek zorundayız. Bütün teoremler uslamlama yoluyla birbiriyle bağıntılı iseler, "en temel aksiyomlar şunlardır, " demek için bir neden yoktur; çünkü farklı bir şeyler söylendiğinde siz de başka türlü muhakeme yürütebilirsiniz. Bu, çok parçalı ve çok bağlantılı bir köprüye benzer; bazı parçalar düşmüşse onları farkla bir şekilde tekrar bağlayabilirsiniz. Günümüzdeki matematiksel yaklaşım şöyledir; Bir çeşit ön anlaşma ile aksiyom olarak seçilmiş fikirlerden yola çıkarak yapıyı kurmak. Babil yaklaşımı ise "Bunu biliyorum, ve bunu biliyorum, belki şunu da biliyorum, ve her şeyi bunlardan çıkarıyorum. Bunun doğru olduğunu yarın unutabilirim; ama başka bir şeyin doğru olduğunu hatırlarım ve tekrar inşa ederim. Nereden başlayıp nerede bitireceğimden hiçbir zaman tam olarak emin değilim. Yalnızca, her zaman, yeterli olacak kadarını hatırlarım. Bu şekilde bellek zayıflasa ve bazı parçalar düşse de bunları her gün yeniden biraraya koyabilirim. " Teoremleri her zaman aksiyomlardan yola çıkarak elde etmek pek verimli bir yöntem değildir. Geometride bir şey üzerinde çalışırken her seferinde aksiyomlardan başlayarak çalışmak verimli olmaz. Eğer geometrik birkaç şey hatırlarsanız daima başka şeylere geçebilirsiniz; ancak işi aksi yönde yapmak daha verimli olur. Hangi aksiyomların en iyisi olduğuna karar vermek de sorunun çözümü için en verimli yol olmayabilir. Fizikte ise Euclid veya Eski Yunan yöntemine değil, Babil yöntemine gerek vardır. Neden böyle olduğunu açıklamak isterim.

Euclid yönteminde sorun, aksiyomların daha ilginç veya önemli olmasıdır. Ancak, örneğin, yerçekimi olayında sorduğumuz şudur: Kuvvetin Güneş'e doğru olması mı, yoksa eşit sürelerde eşit alanların taranması mı daha önemli, daha temel veya iyi bir aksiyomdur? Bir bakış açısına göre, kuvvetle ilgili ifade daha iyidir. Kuvvetlerin ne olduğunu söylersem yörüngeleri elips olmayan çok taneli sistemleri de inceleyebilirim; çünkü kuvvet ifadesi her birinin diğeri üzerindeki çekimi konusunda bilgi veriyor.

Bu durum için eşit alanlar hakkındaki teorem başarısız olur. Bu nedenle alan yerine kuvvet teoreminin aksiyom olarak alınması gerekir sanıyorum. Diğer taraftan, çok parçacıklı bir sistem söz konusuysa, eşit alanlar ilkesi farklı bir teoreme genellenebilir. Bu teoremin ifadesi biraz karışık da olsa ve eşit alanlar hakkındaki teorem kadar ‘zarif olmasa da, ondan türediği açıkça bellidir. Çok parçacıklı bir sistem, örneğin Jüpiter, Satürn, Güneş ve birçok yıldızdan oluşan ve her birinin diğeriyle etkileşim içinde bulunduğu bir sistem ele alalım ve bir düzlem üzerindeki izdüşümlerine çok uzaktan bakalım (Şekil 12). Parçacıkların hepsi değişik yönlerde hareket ediyorlar.



Şekil 12

Biz bir nokta seçerek, bu noktadan herbir parçacığa giden yarıçapın ne kadar alan taradığını hesaplayalım. Bu hesaplamada daha ağır kütleler daha etken sayılacaklardır; yani, eğer bir parçacığın ağırlığı bir diğerinin iki katı ise onun alanı da diğerinin iki katı olarak alınacaktır. Böylece, taranılan her alanı, tarayan kütle ile orantılı olarak hesaplayıp sonra da hepsini toplarsak, *toplam sonucun zamanla değişmediğini* görürüz. Bu toplama açısal momentum, bu kurala da açısal momentumun korunumu yasası diyoruz. Korunum ise değişmezlik anlamına geliyor. Bunun sonuçlarından birisi şöyle açıklanabilir: Birçok yıldızın bir nebula veya galaksi oluşturmak üzere birbirlerine doğru düştüklerini düşünelim. Önceleri çok uzakta, merkezden çok ötelere uzanan uzun bir yarıçap üstünde olurlar; yavaş yavaş hareket ettiklerinden çok ufak bir alan oluştururlar. Birbirlerine yaklaştıkça merkeze olan uzaklıklar kısalır, daha içerilere girdikçe yarıçap küçülür ve her saniye aynı alanı tarayabilmek için çok daha hızlı hareket etmek zorunda kalırlar. Bu nedenle yıldızlar içeriye doğru ilerledikçe daha hızlı

düşeceklerdir. Böylece bir sarmal nebulanın şeklinin niteliğini kabaca açıklamış oluyoruz. Aynı şekilde bir patencinin kendi etrafında nasıl döndüğünü de anlayabiliriz. Bir bacağı dışarıda olacak şekilde yavaş yavaş dönmeye başlar ve bacağını içeriye doğru çektikçe daha hızlı döner. Bacak dışarıda iken her saniye belirli bir alan tarar; bacak içeriye yaklaştıkça aynı alanı oluşturmak için çok daha hızlı dönmesi gerekir. Ancak bu açıklama ile patenci için bir ispat yapmış olmuyorum. Çünkü patenci kas kuvvetini kullanır, yerçekimi ise farklı bir kuvvettir; ama yine de kural patenci için de geçerlidir.

Şimdi bir sorunumuz var. Çoğu kez fiziğin bir bölümünden, yerçekimi yasası gibi türediği yasadan çok daha temel olan bir ilke elde edebiliriz. Matematikte bu olmaz; teoremler olmamaları gereken yerde karşımıza çıkmazlar. Başka bir deyişle, fiziğin aksiyomunun çekim yasasının eşit alan ilkesi olduğunu söylersek, açısal momentin korunumu ilkesini ondan çıkarabiliriz; ancak bu, yalnızca çekim kuvveti için geçerli olur. Bununla beraber açısal momentin daha kapsamlı olduğunu deneysel olarak biliyoruz. Newton, daha genel bir açısal momentin korunumu yasası elde edebileceği başka aksiyomlar ileri sürdü. Ama elde ettiği yasalar yanlıştı. Bunlarda kuvvet yoktur, bir sürü saçmalık vardır, parçacıkların yörüngeleri yoktur, vb. Buna karşın alanlar ve açısal momentin korunumu ilkesinin bu sistemdeki benzeri doğrudur ve kuantum mekaniğindeki atom içi hareketler için de geçerlidir. Çeşitli yasaları içeren geniş kapsamlı ilkelerimiz var. Bu ilkelerden türettiğimiz yasaları çok ciddiye alıp bunlardan birinin, ancak diğeri doğru olduğu için geçerli olduğunu düşünürsek fiziğin değişik konularının birbirleriyle olan ilişkisini anlayamayız. Bir gün, fizik tamamlanıp bütün yasalar bilindiği zaman bazı aksiyomlarla başlayabilecek durumda oluruz. Kuşkusuz, o zaman birisi her şeyin çıkarılabileceği özel bir yol bulmayı başaracaktır. Bütün yasaları bilmediğimiz sürece, kanıtın kapsamadığı durumlar için bazı teoremleri kullanarak ancak tahminler ileri sürebiliriz. Fiziği anlamak için çeşitli önermeleri ve aralarındaki bağıntıyı iyi bilmek ve değerlendirmek gerekir. Çünkü fizik yasaları çoğu zaman çıkarım alanlarının ötesine de uzanır. Bu, ancak bütün yasalar bilindiği zaman önemini yitirecektir.

Fizik ve matematik arasındaki bağıntı konusunda ilginç ve çok tuhaf bir şey daha var. Görünürde farklı olan çeşitli yerlerden başlayıp, matematiksel irdelemeler kullanarak aynı sonuca varabilirsiniz. Bunu hepimiz biliyoruz. Aksiyomlarınız varsa onların yerine bazı teoremleri de kullanabilirsiniz;

ancak fizik yasaları o kadar hassas bir şekilde inşa edilmişlerdir ki, onların birbirine denk olan farklı ifadeleri, nitelik olarak farklı özellikler taşır ve bu onları çok ilginç kılar. Bunu açıklamak için, yerçekimi yasasım birbirine tam olarak denk fakat çok farklı üç ayrı şekilde ifade edeceğim.

Birinci anlatım, cisimler arasında, daha önce verdiğim denklem uyarınca bir kuvvet olduğudur.

$$F=G\frac{mm'}{r^2}$$

Her cisim bu kuvveti görünce, her saniye belirli bir miktar ivme kazanır veya hareketini değiştirir. Bu, yasanın normal ifade şeklidir; ona Newton yasası diyorum. Yasanın bu ifadesi bize kuvvetin sonlu bir uzaklıktaki bir şeye bağımlı olduğunu söylüyor; yerel olmayan (unlocal) dediğimiz bir özelliği içeriyor. Bir cismin üzerindeki kuvvet ondan sonlu uzaklıkta olan bir başka şeyin ne kadar uzakta olduğuna bağımlıdır.

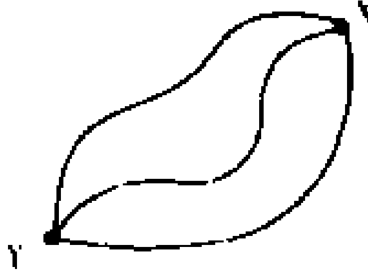
Uzaktan gelen bir etki düşüncesi hoşumuza gitmeyebilir. Bu cisim orada ne olup bittiğini nasıl bilebilir? Öyleyse, yasaları “alan yöntemi” denilen çok değişik bir yolla ifade edelim. Açıklaması zordur ama yine de size neye benzediği hakkında bir fikir vermek istiyorum çünkü çok farklı bir şey söylüyor. Uzaydaki her noktada bir sayı var (bunun bir mekanizma değil, bir sa*yı* olduğunu biliyorum. İşte fiziğin sıkıntısı da bu: matematiksel olma zorunluluğu). Bir yerden diğerine gidildiğinde ise sayılar değişiyor. Uzayda bir noktada bulunan bir cismin üzerindeki kuvvet, sayıların en hızlı olarak değiştiği yöndedir (buna potansiyel diyoruz; kuvvet potansiyelin değiştiği yöndedir). Ayrıca kuvvet, hareket sürecinde potansiyelde gerçekleşen değişimin hızıyla orantılıdır. Bu, ifadenin yalnızca bir bölümüdür ve yeterli değildir. Size potansiyel değişimin nasıl saptanacağını da anlatmam gerekiyor. Potansiyelin, bir cisme olan uzaklıkla ters orantılı olarak değiştiğini söyleyebilirim. Ancak bu, uzaktan etki düşüncesine geri dönüş olur. Yasayı başka bir yolla, küçük bir topun dışında hiçbir yerde olan biten hiçbir şeyi bilmemiz gerekmediğini söyleyerek de ifade edebiliriz. Topun merkezindeki potansiyelin ne kadar olduğunu bilmek isterseniz, bana, top ne denli küçük olursa olsun, yüzeyindeki potansiyelin ne olduğunu söylemeniz yeterli olur. Dışına bakmanız gerekmez, bana sadece yakınındaki potansiyelin ve topun kütlesini söyleyin. Kural şudur: Topun

merkezindeki potansiyel = yüzeyindeki ortalama potansiyel - sabit G (öbür denklemdeki sabit) / topun a dediğimiz yarıçapının iki katı X topun içindeki kütle (eğer top yeterince küçükse).

$$\text{Merkezdeki potansiyel} = \begin{array}{c}\text{Top uzerindeki}\\ \text{ortalama potansiyel}\end{array} - \frac{G}{2a} \times \text{içindeki kütle}$$

Bu yasanın diğerinden farklı olduğunu görüyorsunuz; çünkü bir noktada ne olduğunu, o noktaya çok yakın bölgede ne olduğu cinsinden veriyor. Newton’un yasası ise bir anda ne olduğunu başka bir anda ne olduğu cinsinden verir. Bir andan diğerine ne olduğunu, bir yerden diğerine ne olduğu cinsinden ifade eder. İkinci ifade hem zaman hem de mekan yönünden yereldir; çünkü yalnızca yakın çevrede olanlara bağımlıdır. Ancak yine de matematiksel bakımdan ifadeler tamamen özdeştirler.

Bunun bütünüyle farklı, içerdiği felsefi ve niteleyici fikirler bakımdan farklı bir ifade yolu daha vardır. Bahsettiğim uzaktan etki fikrini beğenmezseniz onsuz da yapabilirsiniz. Şimdi size felsefi yönden bunun tamamen tersi olan bir ifade vereceğim. Bunda cisimlerin bir yerden bir yere nasıl gittiği hiç tartışılmıyor; hepsi aşağıdaki geniş kapsamlı ifadede içeriliyor. Birkaç parçacığınız varsa ve bunlardan birinin bir yerden bir başka yere ne şekilde gittiğini bilmek istiyorsanız bunu, o iki nokta arasının verilen belirli bir sürede gidilebileceği bir yol bularak yaparsınız (Şekil 13).



Şekil 13

Şekil 13

Parçacığın bir saatte X’den *Yye* gitmek istediğini varsayalım. Bunu hangi rotayı izleyerek yapabileceğini bilmek istiyorsunuz. Yapacağınız şey çeşitli eğriler düşünerek her biri için belirli bir niceliği hesaplamaktır (Bu niceliğin ne olduğundan söz etmek istemiyorum; ancak, terimleri bilenlere, her eğri

için bu niceliğin kinetik ve potansiyel enerjiler arasındaki fark ortalaması olduğunu söyleyeceğim). Bu sayıyı önce bir rota, sonra bir diğeri için hesaplarsanız, her rota için farklı bir sayı bulursunuz. Mümkün olan en küçük sayıyı verecek bir rota vardır ve bu da doğadaki bir cismin gerçekte izlediği rotadır! Biz şimdi gerçek hareketten, elipsten, toplam yörüngeden sözediyoruz. Parçacığın çekimi hissedip onun etkisiyle hareket ettiği gibi bir nedensellik artık Söz konusu değildir. Onun yerine şunu söyleyebiliriz: Parçacık azimle bütün eğrileri ve olanakları tarayıp hangisini izleyeceğine karar verir (sayının en küçük olduğu eğriyi seçerek).

Doğanın çeşitli inanılmaz yollarla anlatımının bir örneğini görmüş oluyorsunuz. Doğada nedenselliğin gerekli olduğu söyleniyorsa Newton yasasını kullanabilirsiniz; veya doğanın minimum ilkesi ile anlatılması gerektiği söyleniyorsa bu son şekle göre konuşursunuz; veya eğer doğanın yerel alanı olması gerektiği vurgulanırsa bunu da yapabilirsiniz. Soru şudur: hangisi doğru? eğer bu farklı yaklaşımlar matematiksel olarak denk değillerse, eğer bazıları ile varılan sonuçlar diğerleri ile varılanlardan farklı ise, o zaman doğanın gerçekte hangisini seçtiğini bulmak için deneyler yapmamız yeterlidir. Felsefi yönden birinin diğerine tercih edildiği tartışmalar yapılabilir; ancak, doğanın ne yapacağı hakkındaki bütün felsefî sezinlemelerin başarısız olduğunu uzun deneyimler sonucu öğrenmiş bulunuyoruz. Bütün olanakları araştırıp farklı yolları denemek gerekir. Söz konusu olan bu özel örnekte, teorilerin hepsi tam olarak *denktir.* Her üç ifade şekli; Newton yasası, yerel alan yöntemi ve minimum ilkesi, matematiksel olarak tamamen aynı sonucu verirler. Şimdi ne yapacağız? Biri veya diğeri için bilimsel bir seçim yapamadığımızı bütün kitaplarda okuyabilirsiniz. Bu doğrudur. Üçü de bilimsel olarak birbirine denktir. Sonuçları aynı olduğundan ve ayırım yapmak için deneysel bir yol bulunmadığından bir seçim yapmak olanaksızdır. Ancak, psikolojik bakımdan iki yönden çok farklıdırlar. Birincisi, felsefi nedenlerle onları ya seversiniz, ya sevmezsiniz. Bu hastalığı önlemenin tek yolu eğitimdir. İkincisi de, ifadelerin psikolojik olarak farklı olmalarıdır; çünkü yeni yasalar bulmayı amaçlayan ifadeler arasında denklik Söz konusu olamaz.

Fizik tamam olmadığı ve başka yasaları anlamaya çalıştığımız sürece, yasaların değişik ifade şekilleri, farklı durumlarda ne olabileceği hakkında bize ipuçları verebilir. Daha genel durumlarda yasaların ne şekil alacağı konusunda tahmin yürütürken bize yol göstermek bakımından, ifadeler denk değildirler. Bir örnek; Einstein elektrik sinyallerinin ışık hızından daha

hızlı yayılamayacaklarını farketti. Bunun genel bir ilke olduğunu (bu aynen, açısal momentumu ele alıp onu, ispatı yapılmış bir olaydan yola çıkarak evrendeki bütün olayları kapsayacak şekilde genellemek gibidir) ve her şey için doğru olursa yerçekimi için de doğru olacağını tahmin etti. Eğer sinyaller ışıktan daha hızlı gidemiyorsa, kuvveti anlık olarak düşünmek de pek yeterli olamazdı. Fiziğin Newton'un ifadeleriyle açıklanması, Einstein'ın yerçekimi yasasını genellemesi kapsamında ele alındığında çok yetersiz kalmakta ve işlemleri de çok karmaşık hale gelmektedir. Alan yöntemi ile anlatım ise derli toplu ve basittir; minimum ilkesi ile de öyle. Biz bu ikisi arasında henüz bir seçim yapmadık.

Gerçekte her ikisinin de, daha önce ifade ettiğim şekilleriyle, kuantum mekaniği için tam doğru olmadığı anlaşılmıştır. Ancak, bir minimum ilkesinin varolmasının çok ufak ölçekli parçacıkların kuantum mekaniğine göre hareket etmelerinin bir sonucu olduğu ortaya çıkmıştır. Anlayabildiğimiz kadarıyla en iyi yasa minimum ilkesi ile yerel yasaların bir birleşimidir. Şimdilerde, fizik yasalarının hem yöresel özellikleri hem de minimum ilkesini içermeleri gerektiğini sanıyoruz; ama yine de çok emin değiliz. Elinizde sadece kısmen doğru olan bir sonuç varsa, bir şeylerin ters düşeceğini görüyorsanız, onu doğru aksiyomları seçerek yazarsanız belki sadece bir aksiyomun geçersiz olduğu ortaya çıkacak, diğerleri kalacaktır. Bu durumda yalnızca ufak bir şeyi değiştirmeniz yeterlidir. Fakat başka aksiyomlarla yazarsanız bütün yapı çökebilir; çünkü her şey hatalı olan bu tek aksiyoma dayanmaktadır. Yeni durumları öğrenmemizi sağlayacak sezgisel bir önyargımız olmadan en iyi seçimi önceden bilemeyiz. Bir şeye olası bütün yönlerden bakmayı ihmal etmemeliyiz; yani fizikçiler Babil matematiğine yönelirler ve değişmez aksiyomlardan yararlanarak kesin usavurma yapmaya pek yanaşmazlar.

Doğanın en şaşırtıcı özelliklerinden biri de olası yorum sistemlerinin çeşitliliğidir. Bunun yasaların niteliğinden, özel ve narin olmalarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Örneğin, yasanın ters kare olması onun yerel olmasına yol açıyor; ters küp olsaydı bu yapılamazdı. Diğer taraftan, yasaları minimum ilkesiyle yazmamıza izin veren şey, denklemde kuvvetin hız değişimi ile bağlantılı olmasıdır. Eğer kuvvet hızın değil de, örneğin konumun değişme hızıyla orantlı olsaydı onu bu şekilde, minimum ilkesi şeklinde yazamazdık. Yasaları fazla değiştirirseniz onları daha az sayıda farklı biçimde yazabileceğinizi görürsünüz. Bu bana her zaman esrarengiz gelmiş, fiziğin doğru yasalarının bu kadar çeşitli şekillerde yazılabilmesinin

nedenini anlayamamışımdır. Sanki aynı anda farklı kapılardan geçmeyi başarabiliyorlar.

Matematik ile fiziğin bağıntısı konusunda daha genel birkaç şey söylemek istiyorum. Matematikçiler sadece usavurmanın yapısıyla uğraşırlar. Ne hakkında konuştuklarını önemsemezler. Hakkında konuştuları şeylerin; ya da, itiraf ettikleri gibi, söylediklerinin gerçek olup olmadığını araştırmaya gerek bile görmezler. Bunu açıklayacağım. Aksiyomları ortaya koyuyorsunuz: Bu-ve-bu böyledir, şu-ve-şu şöyledir. Sonra? Bu ve şu sözcüklerinin anlamını bilmeden mantık yürütülebilir. Eğer aksiyomlar hakkındaki ifadeler dikkatle formüle edilmiş ve yeterince eksiksiz ise, usavurmayı yapan kimsenin aynı dilde yeni sonuçlar çıkarması için sözcüklerin anlamını bilmesine gerek yoktur. Eğer aksiyomların birinde üçgen sözcüğünü kullanırsam sonuçta da üçgenle ilgili bir ifade yer alacaktır; halbuki muhakeme yapan kimse üçgenin ne olduğunu bilmeyebilir. Ben onun mantığını çözümleyerek “Üçgen şu üç köşeli şey, şöyle bir şey” diyebilirim; böylece de yeni sonuçları öğrenmiş olurum. Başka bir deyişle, eğer sizin gerçek dünya hakkında aksiyomlarınız varsa, matematikçi size kullanabileceğiniz usavurma yollarını hazırlar. Fizikçi ise onun bütün tümcelerine anlam kazandırır. Bu, fiziğe matematik yoluyla yaklaşanların farketmediği önemli bir noktadır. Ne fizik matematiktir, ne de matematik fizik; bunlar yalnızca birbirlerine yardımcı olurlar. Fizikte sözcüklerin gerçek dünya ile olan bağlantısını bilmeniz gereklidir. Sonunda, bulduğunuz sonucu günlük lisana, dünyaya, deney yapacağınız bakır veya cam parçalarına aktarmak zorundasınız. Sonuçların doğru olup olmadığım ancak bu şekilde anlayabilirsiniz. Bu, matematikle hiç ilgisi olmayan bir sorundur.

Şimdiye kadar geliştirilmiş olan matematiksel uslamlamalar fizikçiler için kuşkusuz çok önemli ve yararlıdır. Öte yandan, fizikçilerin uslamlamaları da matematikçiler için bazen yararlı olur.

Matematikçiler uslamlamalarını mümkün olduğunca genel yapmayı severler. Onlara “Normal üç boyutlu uzay hakkında konuşmak istiyorum, ” dersem, onlar “n boyutlu uzay için şu teoremler var, ” derler. “Ben yalnızca 3 için istiyorum”, “öyleyse n yerine 3 koy! ” Sonuçta, karmaşık teoremlerin birçoğu özel durumlara uygulandığında çok daha basit hale gelir. Fizikçi her zaman özel durumlarla ilgilenir; genel durumlarla hiç ilgilenmez. O 'bir şey' hakkında konuşur, herhangi bir şey hakkında soyut olarak değil. Çekim

yasasını üç boyutta irdelemek ister; n boyutta kuvvetin ne olacağını değil. O nedenle bir çeşit indirgeme gereklidir, çünkü matematikçi bunları daha geniş kapsamlı problemler için hazırlamıştır. Bu çok yararlı bir şeydir. Sonunda da mutlaka zavallı fizikçinin “Affedersin, bana dört boyuttan bahsetmek istediğinde... ” deme gerekliliği ortaya çıkar.

Ne hakkında konuştuğunuzu bilirseniz, yani bazı sembollerin kuvveti, diğerlerinin de kütleyi, eylemsizliği, vb. temsil ettiğini bilirseniz, sağduyudan yararlanabilirsiniz. Bir sürü farklı şey gördünüz ve olayın nasıl gelişeceğini aşağı yukarı biliyorsunuz. Ama zavallı matematikçi onu denklemlere dönüştürür; semboller bir şeyleri ifade etmediğinden de tartışmasında kendisini yönetecek kesin matematiksel katılıktan başka hiçbir rehber yoktur. Cevabın ne olacağını aşağı yukarı bilen fizikçi ise, kısmen de tahminler yürüterek, daha hızlı yol alır. Çok hassas matematiksel kesinlik fizikçi için pek yararlı olmasa da matematikçiyi bu bakımdan eleştirmemek gerekir. Bir şey fiziğe yararlı olacak diye matematikçinin onu mutlaka öyle yapması gerekmez. O kendi işlerine bakar. Başka türlüsünü istiyorsanız onu kendiniz yaparsınız.

Bir başka soru da, yeni bir yasa bulmaya çalışırken önyargılı yaklaşımlar ve felsefi ilkelerden yararlanıp yararlanmamak konusudur; “minimum ilkesini sevmedim” veya “minimum ilkesini çok sevdim”, “uzaktan etkiyi sevmedim” veya “uzaktan etkiyi çok sevdim” gibi. Modeller ne ölçüde yardımcı olur? Modellerin çoğunlukla yararlı olması ilginçtir. Birçok fizik öğretmeni de, modellerden yararlanarak her şeyin nasıl işlediği hakkında iyi bir fikir edinmenin yollarım öğretmeye çalışır. Ancak en büyük buluşların modelden ayrı olarak gerçekleştiği ve modellerin bir yaran olmadığı da görülüyor. Maxwell’in elektrodinamiği keşfi, ilkönce uzayda dolaşan bir sürü tekerlek ve kasnak hayal ederek yapılmıştı. Uzaydaki bütün kasnakları ve başka her şeyi bir yana atsanız, teori yine de doğrudur. Dirac[12] ise göreceli kuantum mekaniği yasalarını yalnızca denklemi tahmin ederek buldu. Denklemi tahmin etme yönteminin yeni yasalar tahmin etmenin etkili bir yolu olduğu görülüyor. Bu bize matematiğin doğayı derin bir biçimde ifade yolu olduğunu ve felsefi ilkelerle önyargılı yaklaşımın verimli bir yol olmadığını bir kez daha gösteriyor.

Beni her zaman düşündüren bir şey var. Bugün anladığımız şekliyle yasalara göre, evrenin en küçük bir bölümünde ve en küçük bir zaman süresinde bile ne olup bittiğini öğrenmek, bir bilgisayarın sonsuz sayıda

mantıksal işlevini gerektiriyor. O küçücük bölgede bütün bunlar nasıl olabiliyor? Küçük bir uzay-zaman parçasında olan biteni anlamak neden sonsuz ölçüde mantık gerektirsin? Fiziğin matematiksel ifadeye gerek duymayacağı, işleyiş tarzının sonunda açıklığa kavuşacağı ve karmaşık görünüşlü bir dama tahtasına benzemekle beraber yasaların basit olduklarının ortaya çıkacağı yolundaki hipotezimi sık sık dile getiririm. Biliyorum, bu tahminler de diğer insanların yaptığı “beğeniyorum”, “beğenmiyorum” yolundaki beyanlarla aynı türde. Bu konularda fazla önyargılı olmak iyi bir şey değil galiba.

Özetlersek, Jean’in “Büyük Mimar bir matematikçi olsa gerek” sözlerini kullanma gereğini duyuyorum. Matematik bilmeyenlere doğanın güzelliğini, en derin güzelliğini gerçekten hissettirmek çok zor. C. P. Snow iki kültürden söz etmişti. Bu iki kültürün, insanları, doğayı gerçekten bir kerecik olsun algılayacak ölçüde matematiği anlama deneyimi olanlar ve olmayanlar şeklinde ayırdığım düşünüyorum.

Ne yazık ki fizikte matematik olmak zorunda; matematik de bazı kimselere zor geliyor. Söylendiğine göre -doğru mu bilmiyorum- Euclid’den geometri öğrenmeye çalışan bir kral, bunun güçlüğünden yakınmış. Euclid de ona “Geometriye giden bir ‘krallar yolu’ yoktur, ” yanıtını vermiş. Krallara özgü bir yol gerçekten yoktur. Fizikçiler başka bir dile yönelemezler. Doğa hakkında bilgi edinmek, onu anlamak istiyorsanız onun konuştuğu dili anlamanız gerekir. O mesajlarını yalnızca bir şekilde sunuyor. Ona kulak vermemiz için önce onun kendisini değiştirmesini isteyecek kadar alçakgönüllülükten uzak olmamalıyız.

Hiçbir entellektüel açıklama sağır kulaklara müziğin ne tür bir deneyim olduğunu aktaramaz. Aynı şekilde, dünyada yapılabilecek bütün entellektüel açıklamalar “öbür kültür”den olanları doğayı anlamaya götüremez. Filozoflar doğayı nitelik açısından öğretmeye çalışabilirler; ben de açıklamaya çalışıyorum. Ancak başaramıyorum; çünkü mümkün değil. Bazı kimselerin, evrenin merkezinin insan olduğunu hayal etmeleri, belki de ufuklarının bu şekilde sınırlı olmasından kaynaklanmaktadır.

Büyük Korunum İlkeleri

Fizik yasalarını öğrenirken yerçekimi, elektrik ve manyetizma, nükleer etkileşim yasaları gibi birçok karmaşık ve ayrıntılı yasanın varolduğunu göreceksiniz. Bütün bu ayrıntılı yasaların hepsinin üstünde olan ve hepsinin tabi olduğu bazı büyük genel ilkeler vardır. Bu ilkelere örnek olarak korunum ilkelerini, belirli bazı simetri özelliklerini, kuantum mekaniği ilkelerinin genel şeklini ve, iyi mi kötü mü bilmem, geçen konuşmada ele aldığımız bütün yasaların matematiksel olduğu gerçeğini sayabiliriz. Bugünkü konuşmamda korunum ilkelerinden sözedeceğim.

Fizikçiler normal sözcükleri farklı bir şekilde kullanırlar. Onlar için korunum yasası şu demektir: Herhangi bir anda hesapladığınız bir sayı vardır. Daha sonra, doğa yığınlarla değişim geçirdikten sonra, bu niceliği yine hesaplarsanız daha önceki sayıyı bulursunuz; sayı değişmez. Bunun bir örneği enerjinin korunumudur. Belirli bir kurala göre hesapladığımız bir sayı vardır ve her ne olursa olsun sayı hep aynıdır.

Böyle bir şeyin yararlı olabileceğini görebilirsiniz. Fiziğin, daha doğrusu doğanın, milyonlarca taşı olan bir satranç oyununa benzediğini düşünelim. Biz taşların hangi yasalar uyarınca hareket ettiğini bilmek istiyoruz. Büyük tanrılar bu satranç oyununu çok çabuk oynadıklarından görüp anlamak zor. Ama yine de bazı kuralları yakalayabiliriz, ayrıca her hamleye bakmadan bulabileceğimiz bazı kurallar da vardır. Örneğin oyun tahtasında tek bir fil, bir beyaz fil bulunuyor. Fil hep çapraz hareket ettiği için bulunduğu karenin rengi hiç değişmeyecektir. Tanrılar oynarken biz bir ara başımızı başka yana çevirsek, sonradan tahtaya tekrar baktığımızda beyaz filin başka bir yerde, ama aynı renkteki bir karede bulunmasını bekleyebiliriz. Bu, korunum ilkesi türünden bir şeydir. Oyun hakkında hiç olmazsa bazı şeyleri bilmek için her an bakmamız gerekmez.

Satranç örneği bu yasa için tam doğru olmayabilir. Eğer başka tarafa uzunca bir süre bakarsak fil kaybedilmiş, piyon vezirliğe terfi etmiş ve tanrı siyah karede olan o piyonun bulunduğu yerde vezir değil de bir fil bulunmasının daha iyi olacağına karar vermiş olabilir. Ne yazık ki günümüzdeki bazı yasaların da tam doğru olmadıkları sonradan ortaya çıkabilir. Ancak ben size yasaları bugün bildiğimiz şekilleriyle anlatacağım.

Size günlük sözcükleri teknik anlamda kullandığımızı söyledim. Bugünkü konuşmanın başlığında (“Büyük Korunum tikeleri”) yer alan sözcüklerin birisi de “büyük” sözcüğü. Bu teknik bir sözcük değildir; oraya yalnızca başlığı daha etkili yapmak için konulmuştur. Onun yerine

“Korunum Yasaları” da diyebilirdim. Tam işlerliği olmayan birkaç korunum yasası vardır ki yaklaşık olarak doğrudurlar; ancak, bazı durumlarda yarar sağlarlar. Onlara da “küçük” korunum yasaları diyebiliriz. Bunların bazılarından ileride sözedeceğim. Şimdi tartışacağım temel yasalar, bugün bildiğimiz kadarıyla, tam olarak doğrudur.

Sözlerime anlaşılması en kolay olan, elektrik yükünün korunumu ile başlayacağım. Dünyadaki toplam elektrik yükünü ifade eden bir sayı vardır ve bu sayı, ne olursa olsun değişmez. Onu bir yerde kaybederseniz başka bir yerde bulursunuz. Korunum toplam elektrik yükü içindir. Bu, deneysel olarak Faraday[13] tarafından keşfedilmişitir. Deney, dış yüzeyinde çok hassas bir galvanometre bulunan bir metal kürenin içine girerek kürenin elektrik yükünü bulmaktan ibaretti, çünkü küçük miktarda bir yük çok büyük bir etki yapacaktı. Faraday kürenin içine çeşitli acayip elektrik cihazları koydu. Cam çubukları kedi postuna sürterek yük oluşturdu ve kürenin içine korku filmlerindeki laboratuvarları anımsatan büyük elektrostatik makinalar yerleştirdi. Ancak bütün bu deneyler sırasında yüzeyde hiç bir elektrik yükü oluşmadı; net bir elektrik yükü yoktu. Kedi postuna sürtünme sonucu cam çubuk pozitif olabilirdi; o zaman post da aynı ölçüde negatif olacaktı ve toplam yük daima sıfırdı. Eğer küre içinde bir yük olsaydı bu, dışındaki galvanometrede etkisini gösterirdi. Demek toplam yük korunmuştu.

Bunu anlamak kolaydır; matematiksel olmayan çok basit bir model açıklayıcı olacaktır. Dünyanın iki tür parçacıktan, elektron ve protondan oluştuğunu -bir ara her şeyin bu kadar basit olduğu düşünülmüştü- ve onları ayırdedebilmek için, elektronların negatif yük, protonların da pozitif yük taşıdığını varsayalım. Bir cisim alıp ona daha fazla elektron verebiliriz veya bir kısmım alabiliriz. Ancak, elektronların kalıcı olduklarını veya yok olmadıklarını varsayarsak -bu, matematiksel bile olmayan basit bir önermedir- toplam proton sayısı ile toplam elektron sayısı arasındaki fark değişmeyecektir. Söz konusu olan bu model için gerçekte proton sayısı da elektron sayısı da değişmeyecektir. Bizi ilgilendiren elektrik yüküdür! Protonların katkısı pozitif, elektronlarınki negatif olacaktır. Bu nesneler için kendi başlarına yaratılma veya yok olma Söz konusu olmadığından toplam yük korunmuştur. Bu konuşmam boyunca, nicelikleri değişmeyen birtakım özellikleri bir liste halinde yazmak istiyorum. İlk olarak yükü ele alacağım (Şekil 14).

	Yük	Baryon No	Acayiplik	Enerji	Açısal momentum
Korunur (yerel olarak)	Evet	Evet	Hemen hemen	Evet	Evet
Birimler halinde ortaya çıkar	Evet	Evet	Evet	Hayır	Evet
Bir alan kaynağıdır	Evet	?	?	Evet	

Profesör Feynman'ın ders boyunca ilaveler yaparak tamamladığı tablo

Şekil 14

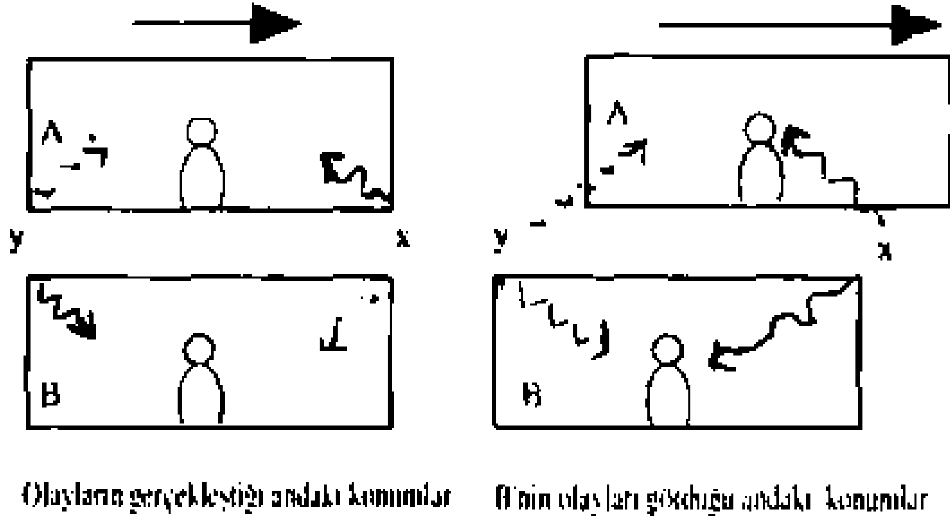
Yükün korunup korunmadığı sorusunun karşısına da “evet” yazacağım. Teorik açıklama çok basittir; ancak, sonraları elektron ve protonların kalıcı olmadıkları keşfedilmiştir. Örneğin, nötron denilen bir parçacık, bir elektron ve bir proton verecek şekilde parçalanabilir -bu parçalanmadan daha sonra değineceğim bir başka şey ortaya çıkar. Ancak, nötron elektrik yükü bakımından nötrdür. Bu nedenle elektron ve protonların sayılan, nötrondan yaratılabildikleri için, değişmez değildir, ama yük yine aynıdır. Sonuç olarak safir yükle başladık, sonra da toplamları yine sıfır olan artı bir ve eksi bir yükümüz oldu.

Buna benzer başka bir olgu da proton gibi pozitif yüklü bir başka parçacıkta görülür. Elektronun bir çeşit görüntüsü olan ve çoğu yönden elektrona benzeyen bu parçacığa pozitron denir. Ancak, elektrondan farklı olarak yükü ters işaretlidir ve daha önemlisi, bir elektronla pozitron karşılaştığında birbirlerini yok ederek parçalanırlar ve sonuçta yalnızca bir ışık oluşur. Bu nedenle de pozitrona karşı-parçacık ad verilmiştir. Demek oluyor ki elektronlar kendi başlarına bile değişmez değiller. Elektron-artı-pozitron ışığa dönüşür. “Işık” gerçekte gözle görülmeyen gama ışınıdır. Ancak bu bir fizikçi için aynı şeydir, yalnızca dalga boyu farklıdır. Böylece,

bir parçacık ile onun karşı-parçacığının yok olduğunu görüyoruz. Işığın elektrik yükü yoktur; ama biz bir pozitif ve bir negatif yükü aldığımız için toplam yük değişmemiştir. Bu nedenlerle yükün korunumu teorisi, biraz karmaşık da olsa hâlâ matematiksel değildir. Elinizdeki pozitron ve protonların sayılarını toplayıp ondan elektronların sayısını çıkarıyorsunuz. Kontrol etmeniz gereken başka parçacıklar da var; örneğin, negatif katkı yapan karşı-protonlar, pozitif olan pi-artı mezonlar. Gerçekte doğadaki bütün temel parçacıkların bir yükü vardır. Yapmamız gereken şey sadece sayılarını toplamaktır. Herhangi bir reaksiyonda ne olursa olsun, bir taraftaki toplam yük diğer taraftaki ile dengelenmek zorundadır.

Bu, elektrik korunumunun bir yönüdür. Şimdi ilginç bir soru ile karşı karşıyayız. Yükün korunduğunu söylemek yeterli midir, başka bir şeyler daha eklememiz de gerekir mi? Eğer yük, hareket eden gerçek bir parçacık olduğu durumda korunuyorsa, çok farklı bir özelliği var demektir. Bir kutu içindeki toplam yük, iki farklı şekilde aynı kalabilir. Belki yük kutuda bir yerden bir yere gidiyordur. Bir başka olasılık da bir yerdeki yükün yok olması, toplam yükün değişmeyeceği şekilde, aynı anda, o anla ilişkili başka bir yerde ortaya çıkmasıdır. Korunum açısından bu ikinci olasılık birinciden şu yönden farklıdır; Eğer yük bir yerde yok olup başka yerde ortaya çıkıyorsa, aradaki uzamda bir şeyin hareket etmesi gerekir. Yük korunumunun bu ikinci şekline yerel yük korunumu denir ve toplam yükün değişmediği şeklindeki basit bir ifadeden çok daha fazla ayrıntı içerir. Eğer yükün yerel olarak korunduğu doğruysa yasamızı geliştiriyoruz demektir. Bu gerçekten de doğrudur. Zaman zaman size bazı usavurma yollarını, bir düşünce ile bir başkası arasında bağlantı kurma yollarım göstermeye çalıştım. Şimdi de size bir başka tartışmayı, esas itibariyle Einstein'ın yol açtığı, eğer bir şey korunuyorsa -bu örnekte yüke uyguluyorum- yerel olarak korunmak zorunda olduğu tartışmasını anlatmak istiyorum. Bu sav şuna dayanır: Uzay gemileri ile birbirlerini geçen iki kişiden hangisinin hareket etmekte ve hangisinin hareketsiz olduğu sorusu deneysel yolla saptanamaz. Buna, yani düz doğru üzerinde düzgün hızla hareketin göreceli olduğu ve her olaya farklı iki yönden bakıldığında hangisinin hareket edip hangisinin durduğunu söyleyemeyeceğimiz ilkesine, görecelik ilkesi denir.

A ve B gibi iki uzay gemisi olduğunu varsayalım (Şekil 15). Ben A'nın B'yi geçecek şekilde hareket ettiği görüşünü savunuyorum.



Şekil 15

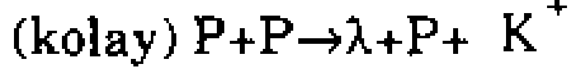
Bunun yalnızca bir görüş olduğunu, ters yönden bakarak da aynı doğa olgusunu elde edeceğinizi unutmayın. Şimdi varsayalım ki, hareketsiz duran kişi uzay gemisinin bir ucunda kaybolup aynı anda öbür ucunda ortaya çıkan bir yükü görüp görmediğini tartışmak istiyor. Aynı anda olduğundan emin olmak için adamın geminin tam ortasında oturmaya özen gösterdiğini de varsayalım. Işığın ulaşması zaman aldığından geminin önünde otursaydı birini diğerinden önce görürdü. Öbür gemide de aynı gözlemleri yapan bir başka adam var. Şimdi, şimşek çakmış ve x noktasında bir yük oluşmuştur ve aynı anda geminin öbür ucu olan y noktasında yük yok olmuş, gözden kaybolmuştur. Yükün korunduğu ilkesi ile uyumlu olarak, “aynı anda” deyimini kullandığıma dikkatinizi çekerim. Bir yerde bir elektron kaybedersek başka bir yerde bir elektron elde ederiz; ancak bu iki nokta arasından bir şey geçmez. Yükün yok olduğu ve tekrar ortaya çıktığı yerlerde birer ışıma olduğunu, böylece olup biteni görebileceğimizi varsayalım. B, iki ışımanın aynı anda olduğunu söyleyecektir; çünkü geminin ortasındadır ve şimşeğin çakması sonucu x’de ortaya çıkan ışığın y'de yok olması sırasında çıkan ışıkla aynı anda kendisine varacağını bilmektedir. B şöyle diyecektir: “Evet, biri yok olduğunda öbürü ortaya çıktı. ” Ya öbür gemideki arkadaşımız ne durumdadır? “Hayır, yanılıyorsunuz dostum. Ben x’in parıltısını y'den önce gördüm, ” diyecektir. Bunun nedeni de şöyle açıklanabilir; Kendisi x’e doğru hareket ettiğinden, x’den gelen ışık y’den gelene göre daha kısa yol katetmiştir; çünkü B, y’den

uzaklaşmaktadır. Şunu da söyleyebilirdi: “Hayır, bence x önce çaktı, sonra y kayboldu. Bu nedenle x’in çakması ve y’nin yok olması arasında geçen kısa sürede bir yük oluştu. Bu, yükün korunumu değil; yasaya ters düşüyor. " Birinci adam da, “Evet ama sen hareket halindesin, ” diyor. Öbürü “Nereden biliyorsun? Ben senin hareket ettiğini sanıyorum, ” vb. Hareket halinde olup olmamamızın fizik yasalarında bir fark yarattığım herhangi bir deneyle saptama olanağımız yoksa, o zaman yükün korunumunun yerel olması gerekir. Öyle olmasaydı yalnızca bazı kimseler için, yani mutlak anlamda hareketsiz duran adam için doğru olurdu. Einstein’ın görecelik ilkesine göre bu olanaksız olduğundan, yük için yerel olmayan korunum da olanaksızdır. Yükün korunumunun yerel olması görecelik teorisi ile uyum içindedir ve bütün korunum yasaları için de doğrudur. Bir şey konmuyorsa aynı ilkenin geçerli olduğunu anlayabilirsiniz.

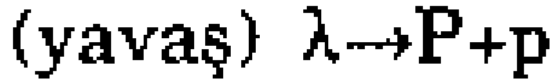
Elektrik yükü konusunda çok ilginç bir şey daha var; henüz gerçek bir açıklama bulamadığımız, korunum yasası ile bir ilgisi olmayan, ondan bağımsız bir şey. Yük daima birimler halinde bulunur. Yüklü bir parçacıkta bir yük veya iki yük vardır; ya da eksi bir veya eksi iki yük. Bunun yükün korunması ile ilgisi olmasa da, tablomuza dönersek, korunan şeyin birimler halinde ortaya çıktığını tabloya yazmam gerekiyor. Birimler halinde olması ise yükün korunumu teorisini kolayca anlaşılır yapıyor. Bir yerden başka bir yere giden, sayabildiğimiz bir *şey* bu. Son olarak da, teknik açıdan, bir şeyin toplam yükünü elektrik yoluyla kolayca saptamak mümkün oluyor. Çünkü yükün çok önemli bir özelliği vardır. Yük, elektrik ve manyetik alanların kaynağıdır. Yük bir cismin elektrik ile, bir elektrik alanı ile etkileşiminin bir ölçütüdür. Listemize eklememiz gereken bir başka şey de yükün bir alan kaynağı olması, eletriğin yükle bağıntılı olmasıdır. Demek ki burada korunan özel niceliğin, korunumla doğrudan ilintili olmamakla beraber ilginç olan iki yönü var. Birincisi birimler halinde gelmesi, İkincisi de bir alanın kaynağı olması.

Birçok korunum yasası vardır. Yük korunumu ile aynı türden, yalnızca sayılabilirliğin yeterli olduğu yasalardan bazı örnekler vereceğim. Baryonların korunumu denilen bir korunum yasası vardır. Bir nötron bir protona dönüşebilir. Bunların her birindeki yüke bir birim veya baryon dersek, baryon sayısı değişmemiş olur. Nötron bir baryonluk yük birimi taşır veya bir baryonu temsil eder; bir proton bir baryonu temsil eder - yaptığımız tek şey sayı saymak ve bunun için tumturaklı sözcükler kullanmaktır. Eğer bahsettiğim reaksiyon gerçekleşirse, yani bir nötron bir

protona dönüşür, bir elektron ve bir anti-nötrinoya ayrışırsa, toplam baryon sayısı değişmez. Doğada başka reaksiyonlar da var. Bir proton artı bir proton çok çeşitli ve garip nesneler ortaya çıkarabilir; örneğin bir lambda, bir proton ve bir K+ Lambda ve K+ tuhaf parçacıkların adlandır.



Bu rekasiyonda iki baryon koyduğumuzu ve yalnızca birinin kaldığını görüyoruz; öyleyse ya lambda ya da K+ 'da bir baryon vardır. Bundan sonra lambdayı incelersek onun çok yavaş olarak bir proton ve bir pi’ye parçalandığını ve sonunda pi’nin de elektronlara ve başka şeylere parçalandığını görürüz.



Buradaki protonda baryonun tekrar ortaya çıktığım görüyoruz. Öyleyse lambdanın baryon sayısının 1 olduğunu, ama K+ ‘da proton olmadığından baryon sayısının sıfır olduğunu düşünüyoruz.

Öyleyse korunum yasaları tablomuza (Şekil 14) yükü koyabiliriz. Baryonlarla da benzer bir durum Söz konusudur. Ancak buradaki özel kurala göre, baryon sayısı şöyle hesaplanır: Proton sayısı artı nötron sayısı artı lambda sayısı eksi karşı-proton sayısı eksi karşı-nötron sayısı vb. Bu, sadece bir sayma işlemidir. Baryonlar da korunur, birimlerle ortaya çıkar; ayrıca hiç kimse nedenini bilmese de herkes onun, benzetme yoluyla, bir alan kaynağı olduğunu düşünmek ister. Bu tabloları yapmamızın nedeni şu: Nükleer etkileşim yasalarını keşfetmeye çalışıyoruz, tablolar da tahmin yapma bakımından kolaylık sağlıyor. Eğer yük bir alan kaynağı ise ve baryon da başka yönlerden yükle aynı özellikleri taşıyorsa, onun da bir alan kaynağı olması gerekir. Ancak, ne yazık ki, şimdilik öyle görünmüyor; öyle olması mümkün, ancak emin olmak için yeterli bilgimiz yok.

Saymaya dayalı bir-iki önerme daha olsa da (örneğin Lepton sayıları, vb), ana fikir baryonlarınkiyle aynıdır. Ancak, biraz farklı olan bir başka şey vardır. Doğadaki bu garip parçacıkların arasındaki reaksiyonların kendilerine özgü reaksiyon hızları bulunmaktadır; bazı reaksiyonlar çok çabuk ve kolay, bazıları ise çok yavaş ve zor gerçekleşmektedir. Kolay ve zor sözcüklerini teknik anlamda, deneyleri yapma anlamında değil,

reaksiyonun hangi hızla gerçekleştiği ile ilgili olarak kullanıyorum. Yukarıda bahsettiğim iki reaksiyon arasında, protonun ayrışımı ve çok daha yavaş olan lambdanın ayrışımı arasında kesin bir farklılık bulunuyor. Çabuk ve kolay reaksiyonlar için bir de sayısal kural var. Buna göre lambda eksi bir, artı bir ve proton sıfır alıyor. Buna acayiplik sayısı (strange-ness number) veya hyperon yükü diyoruz. Bunun korunduğu yolundaki kuralın bütün kolay reaksiyonlar için doğru, zor reaksiyonlar için yanlış olduğu görülüyor. Tablomuza (Şekil 14) acayiplik korunumu veya hyperon sayısı korunumu denilen ve hemen hemen doğru olan korunum yasasını da eklemek zorundayız. Bu niceliği neden acayiplik olarak nitelendirdiğimiz anlaşılıyor. Korunduğu hemen hemen doğru, birimlerle ortaya çıktığı ise doğru. Nükleer kuvvetler arasındaki güçlü etkileşimi anlamaya çalışırken, güçlü etkileşimde de bir şeyin korunur olması bazı kimselere onun da bir alan kaynağı olabileceğini düşündürdü. Ancak bunu da kesin olarak bilmiyoruz. Bu örneği size korunum *yasalarının*, yeni yasalar tahmin etmek için nasıl kullanılabileceklerim göstermek için verdim.

Saymaya dayanan ve zaman zaman öne sürülen başka korunum yasaları da vardır. Örneğin kimyacılar bir ara sodyum atomu sayısının hiçbir şekilde değişmediğini düşünmüşlerdi. Ancak sodyum atomları değişmez değildirler. Bir elementin atomunu, orijinal elementin tamamen yok olacağı şekilde, bir diğer elementin atomuna dönüştürme olanağı vardır. Doğru olduğuna bir süre inanılan bir başka yasa da bir nesnenin toplam kütlesinin değişmediği yolundaydı. Bu, kütleyi nasıl tanımladığınıza ve enerjiyle karıştırıp karıştırmadığınıza bağlıdır. Birazdan tartışacağım enerjinin korunumu yasası kütlenin korunumu yasasını da içerir. Bütün korunum yasaları içinde en zor ve soyut, ancak en yararlı olanı enerjinin korunumu yasasıdır. Anlaşılması daha önce açıkladıklarımdan daha zordur, çünkü yük ve diğer korunum yasalarında mekanizma bellidir; bu mekanizma nesnelerin şu veya bu şekilde korunumudur. Enerji için ise durum tamamen farklıdır. Çünkü eski şeylerden yeni şeyler elde ederiz; ancak yine de söz konusu olan yalnızca basit bir sayma işlemidir.

Enerjinin korunumu biraz daha zordur; çünkü burada da zaman içinde değişmeyen bir sayımız vardır, ama bu sayı özel bir şeyi temsil etmemektedir. Bunu açıklamak için, saçma gibi görünen bir benzetme yapacağım.

Bir annenin, çocuğunu bir odada, hiçbir şekilde tahrip edilemeyecek 28 tane oyuncak küple yalnız bıraktığını düşünmenizi istiyorum. Çocuk bütün gün küplerle oynar ve anne eve döndüğünde küplerin "korunduğunu" devamlı olarak kontrol ederek onların gerçekten de 28 tane olduğunu saptar. Aynı şey birkaç gün tekrarlanır. Sonra anne bir gün eve geldiğinde 27 küp sayar! Ama pencerenin dışında çocuğun dışarıya atmış olduğu bir küp bulur. Korunum yasalarında anlamanız gereken ilk şey, kontrol etmeye çalıştığınız şeyin dışarıya çıkmamış olduğuna dikkat etme gereğidir. Eğer bir başka çocuk beraberinde birkaç küple birlikte oynamaya gelmişse aynı şey aksi yönde de gelişebilirdi. Açıkça görüldüğü gibi, korunum yasalarından söz ederken böyle şeyleri dikkate almamız gereklidir. Bir gün eve geldiğinde annenin yalnızca 25 küp bulduğunu varsayalım. Çocuğun üç küpü bir oyuncak kutusuna sakladığından kuşkulanır. "Kutuyu açacağım, " der. Çocuk da "Hayır, kutuyu açamazsın, " yanıtını verir. Anne çok akıllı bir kişidir; şöyle der: "Kutu boş olduğunda 16 ons[14] geldiğini ve her küpün 3 ons olduğunu biliyorum. Şimdi kutuyu tartacağım."

$$\text{Görünen küplerin sayısı} + \frac{\text{Kutunun ağırlığı - 16 ons}}{\text{3 ons}}$$

Bütün küpleri hesaba katarak formülünü uygular ve toplamı 28 olarak bulur. Bir süre böyle devam eder. Ama bir gün toplam doğru çıkmaz. Bu arada lavabodaki kirli su seviyesinin değişmiş olduğunu farkeder. içinde küp olmayınca suyun derinliğinin 6 inç olduğunu, suda bir küp olunca da seviyenin 1/4 inç yükseldiğini bilmektedir. İfadeye bir terim daha ekler:

$$\text{Görünen küplerin sayısı} + \frac{\text{Kutunun ağırlığı-16 ons}}{\text{3 ons}} + \frac{\text{Su yüksekliği-6 inç}}{\text{1/4 inç}}$$

Toplam yine 28'dir. Çocuk kurnazlığı artırdıkça ve anne de aynı ölçüde kurnaz olmaya devam ettikçe daha çok terim eklemek gerekecektir. Terimlerin hepsi küp sayısını temsil etmektedir. Ancak, küpler görünmediğinden bunlar matematiksel olarak soyut hesaplardır.

Şimdi benzetmeyi yapacağım ve size bu örnekle enerjinin korunumu arasında neyin ortak, neyin farklı olduğunu anlatacağım. Önce, her durumda hiç küp görmediğimizi düşünelim. "Görünen küp sayısı" terimi

toplama girmeyecektir. Bu durumda anne durmadan “kutudaki küpler”, “sudaki küpler” vb. bir sürü terimi hesaplayıp duracaktır. Enerji için fark şuradadır: Bildiğimiz kadarıyla hiç küp yoktur. Ayrıca, küplerden farklı olarak, enerji için bulunan sayılar tam sayılar değildir. Olabilir ki zavallı anne bir terimi hesaplarken sonucu 6 1/8 başka bir terim için 7/8, diğerleri için de 21 buldu. Toplam yine 28 çıkacaktır. Durum, enerji için buna benzer.

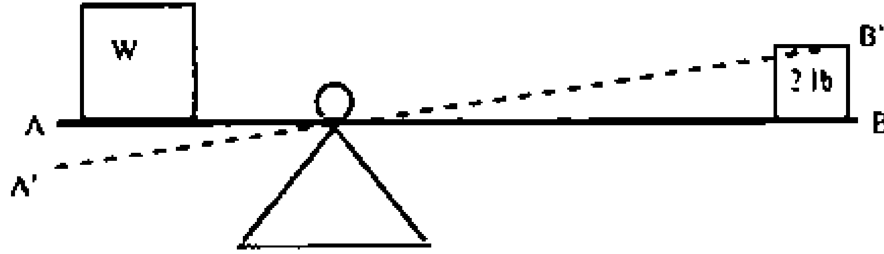
Enerji için keşfetmiş olduğumuz şey, bir dizi kuraldan oluşan bir sistemdir. Farklı enerjiler için farklı kurallarla saptanan sayılar buluruz. Değişik enerji çeşitleri için bulduğumuz bütün sayıları topladığımızda toplam hep aynı çıkar. Ancak, bildiğimiz kadarıyla gerçek birimler, küçük bilyeler yoktur. İşlem tümüyle soyut ve matematikseldir. Her hesapladığımızda hep aynı çıkan bir sayı vardır. Bunu daha iyi bir şekilde açıklamama olanak yok.

Bu enerji kutudaki küpler, sudaki küpler vb. gibi değişik şekillerde ortaya çıkar. Hareket sonucu ortaya çıkan kinetik enerji dediğimiz enerji, yerçekimi etkileşimi sonucu ortaya çıkan enerji (buna yerçekimi potansiyel enerjisi diyoruz), ısı enerjisi, elektrik enerjisi, yay vb. ’de bulunan esneklik enerjisi, kimyasal enerji, nükleer enerji, bir de parçacığın yalnızca varolmasından kaynaklanan ve onun kütlesine bağımlı olan bir enerji vardır. Bu sonuncusu, kuşkusuz bildiğiniz gibi, Einstein’ın katkısı olan ünlü $E = mc^2$ denklemidir.

Çok sayıda enerjiden söz ettim; ancak bu konuda tam bilgisiz olmadığımızı, bazılarının diğerleri ile olan ilişkisini anladığımızı da eklemek isterim. Örneğin, ısı enerjisi dediğimiz şey büyük ölçüde, bir cisim içindeki parçacıkların kinetik enerjisinden ibarettir. Esneklik enerjisi ve kimyasal enerjinin kökeni aynıdır: atomlar arasındaki kuvvetler. Atomlar yeni bir düzen içinde yer aldıklarında bir miktar enerji değişimi olur. Bu, o niceliğin değişmesi ile başka bir niceliğin de değişmesinin gerektiği anlamına gelir. Örneğin, bir şeyi yaktığımızda kimyasal enerji değişir; daha önce sıcaklığın olmadığı bir yerden sıcaklık ortaya çıkar. Çünkü her şey doğru toplamı vermek zorundadır. Esneklik enerjisi ve kimyasal enerjinin her ikisi de atomlararası etkileşimden kaynaklanır. Artık bu etkileşimlerin, biri elektrik enerjisi, diğeri de kinetik enerji olan iki farklı enerjinin bileşimi olduğunu anlamış bulunuyoruz. Ancak bu, bir kuantum mekanik formülüdür. Işık enerjisi elektrik enerjisinden başka bir şey değildir, çünkü ışık artık elektrik ve manyetik dalga olarak yorumlanmaktadır. Nükleer

enerji ise diğerleri cinsinden ifade edilemez; şu anda onun nükleer kuvvetlerin sonucu olduğundan fazla bir şey söyleyemeyeceğim. Söz konusu ettiğim şey açığa çıkan enerji değildir. Uranyum çekirdeğinde belli bir miktar enerji vardır. Uranyum parçalandığında çekirdekte kalan enerji değişir; fakat dünyadaki toplam enerji değişmez. Bu arada ortaya çıkan ısı vb. de dengeyi sağlar.

Enerjinin korunumu yasası birçok teknik alanda çok yararlıdır. Bu yasanın ve enerjiyi hesaplama formüllerinin bilinmesinin başka yasaları anlamamıza nasıl yardımcı olduğunu basit bazı örneklerle açıklamaya çalışacağım. Başka bir deyişle, diğer yasaların birçoğu bağımsız değildir; sadece, enerjinin korunumunun gizli birer anlatımıdırlar. Bunların en basit olanı kaldıraç yasasıdır. (Şekil 16).



Şekil 16

Bir dayanak üzerine konmuş bir kaldıracımız var. Bir kolunun uzunluğu 1 foot (ft.), diğerininki ise 4 ft.'dir. Önce yerçekimi enerjisi yasasını vermeliyim. Birkaç ağırlığınız varsa ve her birinin ağırlığını yerden yüksekliği ile çarpıp hepsini toplarsanız yerçekimi enerjisini bulursunuz. Uzun kolda 2 Ib'lik[15] bir ağırlık, diğer tarafta da bilinmeyen bir ağırlık bulunsun -X her zaman bilinmeyeni gösterir, ama sıradışı görünmek için ona W diyelim! Sorumuz şudur; Kaldıracın tam denge durumuna gelip rahatça aşağı yukarı sallanması için W ne kadar olmalıdır? Eğer kaldıraç aşağı yukarı rahatça sallanıyorsa, bu demektir ki kaldıraç yere paralel de olsa, 21b'lik ağırlık yerden örneğin 1 inç yüksekte de olsa enerji hep aynıdır. enerji hep aynı ise kaldıracın hangi konumda olduğu fark etmez ve ağırlıklar düşmez. 2 lb'lik ağırlık bir inç yükseldiğinde W ne kadar alçalır? Resimde (Şekil 16) gördügümüz gibi OA 1 ft. ve OB uzunluğu 4 ft. olursa, BB' 1 inç, AA' de 1/4 inç'tir. Şimdi yerçekimi enerjisi yasasını uygulayalım. Herhangi bir şey olmadan önce bütün yükseklikler sıfırdı; öyleyse toplam enerji de sıfırdı. Hareket başladıktan sonraki yerçekimi enerjisini bulmak için 2 Ib. ağırlığı 1 inç yükseklikle çarpar, ona, bilinmeyen ağırlık W çarpı

-1/4 inç yüksekliği ilave ederiz. Bu toplam bize önceki enerji olan sıfırı vermelidir. Böylece 2 - W/4 = O, öyleyse W de 8 olmalıdır. Hepimizin kaldıraç yasası olarak bildiğimiz bu kolay yasayı anlamanın bir yolu budur. Ancak ilginç olan, yalnız bunun değil yüzlerce başka fizik yasasının da enerjinin değişik şekilleriyle bağıntılı olmasıdır. Bu örneği onun ne denli yararlı olduğunu göstermek için verdim.

Ancak bunun tek bir sakıncası vardır; uygulamada dayanak noktasındaki sürtünmeden dolayı tam doğru sonuç vermez. Hareket eden bir şey, örneğin yatay bir düzlem üzerinde yuvarlanan bir topum varsa, sürtünme nedeniyle bir süre sonra duracaktır. Topun kinetik enerjisi nereye gidecek? Yanıt: Topun hareket enerjisi, toptaki ve yerdeki atomların titreşim enerjisine gidecektir. Gördüğümüz dünya, büyük ölçekte, cilalanmış büyük bir topa benzer. Küçük ölçekte baktığımızda ise çok karmaşıktır: değişik şekillerde milyarlarca minicik atom... Yeterince yakından bakıldığında ise pürüzlü bir kayaya benzer; çünkü küçük toplardan oluşmuştur. Yerin durumu da aynıdır; yamru yumru toplar... Bu kocaman kayayı büyütülmüş yüzey üzerinde yuvarladığımızda atomların bütün o itilip kakılma sonrasında hâlâ biraz titreştiklerini görürsünüz; yani yerde bir titreşim hareketi veya ısı enerjisi kalmıştır. İlk bakışta korunum yasası geçerli değilmiş gibi görünse de enerjinin bizden gizlenmeye bir eğilimi var gibidir. Hâlâ orada olduğundan emin olmak için termometre ve diğer bazı enstrümanlara gerek vardır. Süreç ne denli karmaşık olursa olsun, hatta ayrıntıları tam olarak bilmesek de enerjinin tam olarak korunduğunu görürüz.

Enerjinin korunumu yasası ilk olarak bir fizikçi tarafından değil, bir tıp adamı tarafından açıklığa çıkarılmıştır. Kendisi bunun için fareleri kullanmıştır. Besinler yandığında ne kadar ısı oluştuğunu saptayabilirsiniz. Bir miktar besini farelere yedirirseniz, tıpkı yanmada olduğu gibi, besin oksijen etkisiyle karbondiokside dönüşür. enerjiyi, her iki durumdaki enerjiyi ölçerseniz canlı varlıkların cansızlarla aynı şeyi yaptığını görürsünüz. Enerjinin korunumu yasası öbür olgular için geçerli olduğu kadar yaşam için de geçerlidir. Şunu da eklemek isterim: “cansız” olan şeyler için doğru olduğunu bildiğimiz her yasanın yaşam denilen o büyük olgu için sınandığında da doğru çıkması çok ilginç bir şey. Fizik yasaları bağlamında, çok daha karmaşık olan canlı varlıklarda olup bitenlerin yaşamayan varlıklarda olup bitenlerden farklı olmasını gerektiren bir bulgu henüz yoktur.

Besinlerdeki enerji miktarı ne kadar ısı, mekanik iş, vb. ortaya çıkacağım belirleyen “kalori” ile ölçülür. Kalori, yiyecekte ne kadar ısı enerjisi olduğunu belirtir. Fizikçiler bazen o denli üstün ve kendilerinden emin görünürler ki diğer insanlar bir yerde onların açıklarını yakalamayı arzu ederler. Şimdi size onları yakalamanıza yardımcı olacak bir şey söyleyeyim. Fizikçilerin, enerjiyi alıp onu birçok şekilde ve birçok değişik isimle ölçmekten utanmaları gerekir! enerjinin kalori, erg, elektron volt, kilogram metre, B. T. U., beygir gücü saat, kilovat saat ile ölçülmesi saçma bir şey. Bu, insana paranın sterlin, dolar, vb. ile ölçülmesini anımsatıyor. Ancak arada bir fark vardır; paraların birbirlerine olan oranları ekonomik nedenlerle değişebilir, bütün bu farklı enerji birimlerinin birbirlerine oranları ise mutlak olarak sabittir. Bir örnek gerekirse, sterlin ile şilin gibidirler; bir sterlin daima yirmi şilindir. Ancak fizikçiler oran olarak 20 gibi bir sayı yerine 1 sterlin için 1. 6183178 gibi akılalmaz bir oran kullanırlar. Hiç olmazsa modem üst-düzey teorik fizikçilerin ortak bir birim kullanabileceklerini düşünürsünüz; ancak makalelerde enerji ölçümü için Kelvin derecesi, megasikl ve en son moda olarak da ters Fermi’ler kullanıldığını görürsünüz. Fizikçilerin de insan olduğunu kanıtlamak isteyenler için kanıt, enerjiyi ölçmek için bu kadar çeşitli birim kullanma hastalığıdır.

Enerji konusunda ortaya ilginç problemler öne süren bazı doğa olayları vardır. Yakın zamanlarda kuasar denilen bir şeyler keşfedildi. Bunlar çok çok uzaklarda olup, ışık ve radyo dalgaları halinde muazzam enerji yayarlar. Bu enerji nereden geliyor? enerjinin korunumu yasası doğru ise kuasarın bu kadar enerji yaydıktan sonraki durumu, önceki durumundan farklı olmalıdır. Soru şu; bu, yerçekimi enerjisinden mi kaynaklanıyor? Bu cisim çekim bakımından çöktü mü, yoksa farklı bir çekim durumunda mı? Yoksa neşredilen bütün bu şeyler nükleer enerjiden mi kaynaklanıyor? Bunları hiç kimse bilmiyor. Enerjinin korunum yasasının belki de doğru olmadığını söyleyeceksiniz. Eğer kuasarlar gibi yeterince incelenmemiş şeyler -kuasarlar o kadar uzaktadırlar ki astronomlar ordan kolayca göremezler- temel yasalara ters düşerse bunun yasalardaki hatalardan kaynaklanma olasılığı çok zayıftır; neden, genellikle ayrıntıların bilinmemesidir.

Enerjinin korunumu yasasının kullanıldığı ilginç başka bir örnek de bir nötronun, bir proton, bir elektron ve bir karşı-nötrinoya ayrıştığı reaksiyondur. Önceleri nötronun bir proton artı bir elektrona dönüştüğü

düşünülmüştü. Ancak, bütün parçacıkların enerjileri ölçülebiliyordu ve bir proton ile bir elektronun toplamı bir nötron vermiyordu. Bu durumda iki olasılık vardı. Enerjinin korunumu yasası belki de doğru değildi. Gerçekten de bir ara Bohr[16] enerjinin korunumu yasasının yalnız istatistiksel olarak, ortalamalar için doğru olabileceğini öne sürdü. Ancak, şimdi ikinci olasılığın doğru olduğu, enerji hesabının tutmaması nedeninin başka bir şeyin, karşı-nötrino dediğimiz şeyin ortaya çıkması olduğu saptandı. Bu karşı-nötrino da enerji alıyordu. Karşı-nötrinonun ortaya çıkışının tek nedeninin enerjinin korunumu yasasını doğru kılmak olduğunu söyleyebilirsiniz. Fakat bu parçacık başka birçok şeyi de doğru kılıyor; örneğin momentumun korunumu ve başka korunum yasalarım. Öte yandan, nötrinoların gerçekten varoldukları yakın zamanda kanıtlanmıştır.

Bu örnek bir konuya açıklık getirmektedir. Yasalarımızı emin olmağımız alanlara da genişletebilmemiz nasıl mümkün oluyor? enerjinin korunumunu bir yerde doğruladıktan sonra, yeni bir durum ortaya çıktığında onun da enerjinin korunum yasasım sağlaması gerektiğinden neden bu kadar eminiz? Arasıra gazetelerde fizikçilerin, çok sevdikleri bir yasanın yanlış olduğunu keşfettiklerim okursunuz. Öyleyse, bir yasanın henüz incelenmemiş bir alanda geçerli olduğunu söylemek yanlış mıdır? Eğer bir yasanın henüz incelemediğimiz bir alanda da doğru olacağını asla söyleyemezseniz hiçbir şey bilmiyorsunuz demektir. Eğer bulduğumuz yasalar yalnızca henüz gözlemlemeyi tamamladığımız yasalardan oluşursa, hiçbir zaman ileriye dönük tahminlerde bulunamayız. Halbuki bilimin tek yaran yola devam edip tahminler yürütmeye çalışmaktır. O nedenle, yaptığımız şey, her zaman riski göze almaktır. enerjiye gelince, onun başka yerlerde de korunmakta olması en kuvvetli olasılıktır.

Bu, bilimin kesin olmadığı anlamına gelmektedir. Doğrudan görmediğiniz bir inceleme hakkında bir önerme yaptığınızda sizin de kesin olmamanız gerekir. Ancak, bizler görmediğimiz alanlar hakkında da beyanlarda bulunmak zorunda kalırız; yoksa bütün bu işlerin bir yaran olmaz. Örneğin, hareket eden bir cismin kütlesi, enerjinin korunumundan dolayı değişir. enerji ile kütle arasındaki ilişkiden dolayı, hareket nedeniyle oluşan enerji ek bir kütle etkisi yapar; böylece de, hareket eden cisimler daha ağırlaşırlar. Newton durumun böyle olmadığı, kütlelerin sabit kaldığı görüşündeydi. Newton’un bu fikrinin yanlış olduğu ortaya çıktığında herkes fizikçilerin hata yapmış olduklarını görmenin korkunç bir şey olduğunu

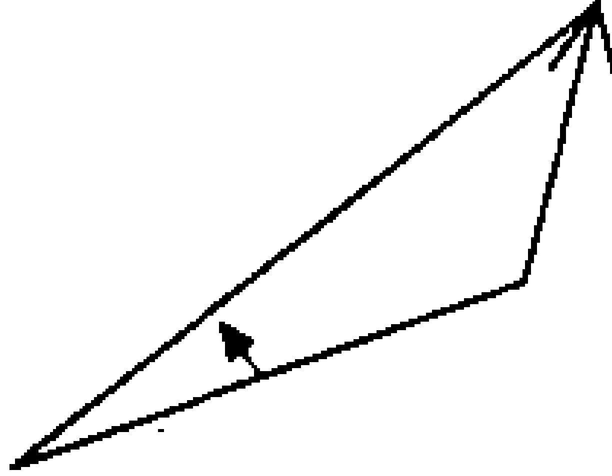
söyledi durdu. Neden kendilerinin haklı olduklarım sanıyorlardı? Gerçekte etki çok ufaktır ve ancak ışık hızına yaklaştığınızda ortaya çıkar. Bir topacı döndürdüğümüzde kütle, çok çok küçük bir hata payı ile, döndürmediğimiz zamanki ile aynıdır. O halde “şundan veya bundan daha hızlı döndürmezseniz kütle değişmez” mi demek gerekirdi; o zaman kesinlik olur muydu? Hayır, çünkü deney yalnız tahta, bakır ve çelik topaçlarla yapılmış olsaydı “tahta, bakır ve çelikten yapılmış topaçlar şundan veya bundan daha hızlı hareket etmezse, vb.... ” demek gerekecekti. Gördüğünüz gibi, bir deney için gerekli olan bütün koşulları bilmiyoruz. Radyoaktif bir topacın kütlesinin korunup korunmadığım bilmiyoruz. Bilime herhangi bir yararlılık sağlamak için tahminler yürütmemiz gerekiyor. yalnızca yaptığımız deneyleri açıklamakla kalmayacaksak onların gözlem kapsamları dışmda da geçerli olan yasalar öne sürmemiz gerekir. Bilimi kesinlikten uzaklaştırsa da bunda yanlış olan bir şey yoktur. Eğer daha önce bilimin çok kesin olduğunu düşündüyseniz, siz hata yaptınız.

Korunum yasaları listemize (Şekil 14) dönerek ona enerjiyi de ekleyebiliriz.

Bilebildiğimiz kadarıyla enerji tam olarak korunuyor, birimler halinde gelmiyor. Şimdi soru, onun bir alan kaynağı olup olmadığıdır. Yanıt olumludur. Einstein yerçekimimin enerji tarafından oluşturulduğunu farketti. Enerji ve kütle eşdeğerlidir; böylece Newton’un, kütlenin yerçekimine yol açtığı şeklindeki yorumu, yerçekimini enerjinin oluşturduğu şeklinde değiştirilmiştir.

Sayılardan oluşmaları bakımından enerjinin korunumuna benzeyen başka yasalar da vardır. Bunlardan birisi de momentumdur. Bir cisimdeki bütün kütleleri hızları ile çarpıp bunların hepsini toplarsanız parçacıkların toplam momentumunu bulursunuz ve toplam momentum miktarı korunur. Enerji ve momentumun birbirleriyle çok yakından ilişkili oldukları şimdilerde anlaşılmış bulunuyor. Bu nedenle de onları tablomuzda aynı sütuna yazdım.

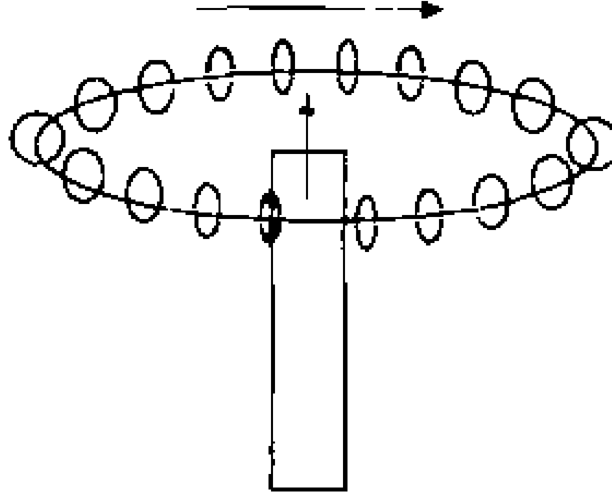
Korunan başka bir nicelik de daha önce incelediğimiz açısal momentumdur. Açısal momentum hareket eden cisimlerin bir saniyede taradıkları alandır. Örneğin hareket eden bir cisim ve herhangi bir merkez ele alalım. Merkezle cismi bileştiren doğrunun taradığı alanın büyüme hızı cismin kütlesiyle çarpılır ve bütün cisimler için bu şekilde bulunan sayılar toplanırsa buna açısal momentum denir (Şekil 17).



Şekil 17

Şekil 17

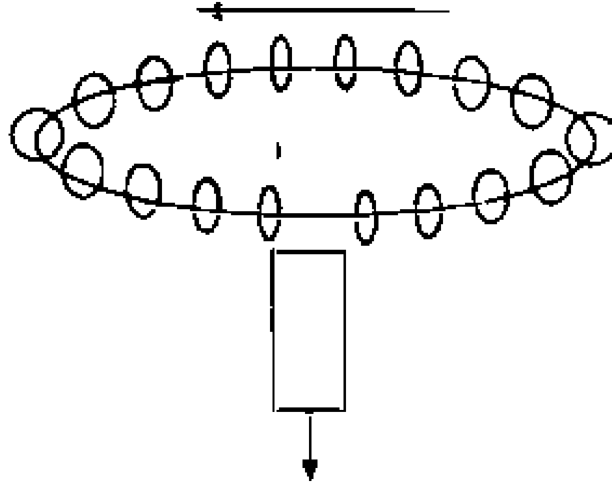
Bu nicelik değişmez; yani açısal momentum korunmaktadır. İlk bakışta açısal momentumun korunmadığını düşünebilirsiniz. Enerji gibi o da değişik şekillerde ortaya çıkar. Çoğu kişi onun hareketle ortaya çıktığını düşünürse de, ben size bunun başka şekillerde olabileceğini göstereceğim. Bir teliniz varsa ve ona bir mıknatıs yaklaştırırsanız telden geçen akım ve manyetik alan artar ve bir elektrik akımı oluşur (jeneratörler böyle çalışır). Şimdi tel yerine, üzerinde teldeki elektronlara benzer şekilde elektrik yükleri bulunan bir disk düşünelim (Şekil 18).



Şekil 18

Şekil 18

Eğer bir mıknatısı, ekseni tam merkezde olacak şekilde, uzaklardan ve çok hızlı bir şekilde halkaya yaklaştırırsam bir akı değişimi olacak ve tıpkı telde olduğu gibi yükler dönmeye başlayacaktır. Eğer bu disk bir tekerlek üzerinde olsaydı mıknatıs ona vardığında dönmeye başlamış olurdu. Bu, açısal momentumun korunumuna aykırı gibi görünüyor; çünkü mıknatıs diskten uzaktayken dönen bir şey yoktu, yaklaşınca dönmeye başladı. Bir şey vermeden dönme elde ettik; bu da kurallara aykırı. Bana “Evet biliyorum, mıknatısı ters yönde döndürecek bir başka etkileşim olması gerek, ” diyeceksiniz. Durum öyle değildir. Mıknatısta onu ters yönde döndürmeye yönelik bir elektrik kuvveti yoktur. Bunun açıklaması, açısal momentumun iki şekilde ortaya çıkmasındadır. Birisi hareketin açısal momentumu, İkincisi de elektrik ve manyetik alanların açısal mometumu şeklindedir. Mıknatısın çevresindeki alanda da açısal momentum vardır; ancak bu, dönme ile ters yöndedir ve hareket olarak görünmemektedir. Bunun tersini düşünürsek durum biraz daha açıklığa kavuşur (Şekil 19).



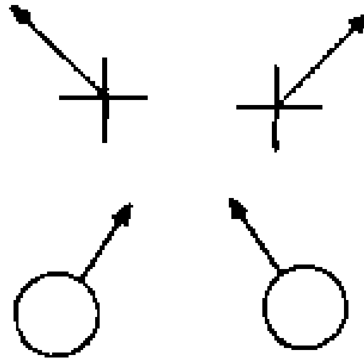
Şekil 19

Eğer mıknatıs ve parçacıklar birbirlerine yakın ve her şey hareketsiz ise, alanda bir açısal momentumun; dönme şeklinde etki göstermeyen gizli bir açısal momentumun varolduğunu söylerim. Mıknatısı aşağıya çekip sistemi ayırırsanız bütün alanlar ayrılır ve açısal momentum görünmek zorunda kalır; disk dönmeye başlar. Diski döndüren yasa elektriğin endüksiyonu yasasıdır.

Açısal momentin birimlerle ortaya çıkıp çıkmadığı sorusunu yanıtlamak benim için zordur. İlk bakışta, açısal momentumun birimlerle ortaya

çıkması kesin olarak olanaksız görünüyor. Çünkü açısal momentum, resmin izdüşümünü hangi yönde aldığımıza bağımlıdır. Bir alan değişimine bakıyorsunuz; bunun da, tam karşıdan veya bir açıdan bakılması ve bağımlı olarak değişeceği ortadadır. Eğer açısal momentum birimlerle ortaya çıkıyorsa ve siz bir şeye baktığınızda sekiz birim gösterdiyse, çok az farklı bir açıdan baktığınızda birim sayısı da çok az farkedecek, 8’den biraz eksik olacaktır. Ancak 7, 8’den 'biraz’ farklı değildir; 8’den belirli bir miktar eksiktir. Öyleyse birimlerle geliyor olamaz. Ancak, bu ispat kuantum mekaniğinin nicelikleri ve tuhaflıklarından dolayı sakıncalıdır. Açısal momentumu herhangi bir eksene göre ölçersek -inanması güç ama- sonucun daima belirli sayıda birimden oluştuğunu görüyoruz. Bu birim elektrik yükü gibi sayılabilen bir birim değildir. Açısal moment, her ölçümde belirli bir tam sayı çarpı bir birim olarak, yani matematiksel bir anlamda birimlerle ortaya çıkmaktadır. Ancak bunu, elektrik yükünde olduğu gibi “bir, sonra bir daha, sonra bir daha” gibi sayılabilir birimler olarak yorumlayamayız. Açısal momentum ayrı ayrı birimler olarak değil, çok tuhaf ama, daima bir tam sayı şeklinde ortaya çıkar.

Başka bazı korunum yasaları da var; ancak onlar anlatmış olduklarım kadar ilginç olmayıp tam olarak sayıların korunumu ile de ilgili değildirler. Belirli bir simetri içinde hareket eden parçacıkları olan bir düzen düşünelim ve hareketlerinin iki yönlü simetrik olduğunu varsayalım (Şekil 20). Fizik yasaları uyarınca gerçekleşen bütün hareket ve çarpışmalar sonrasında, bir süre sonra da her şeyin hâlâ iki yönlü simetrik olmasını beklersiniz.



Şekil 20

Şekil 20

Burada da bir tür korunum; simetri özelliğinin korunumu Söz konusudur. Tabloda bu da gösterilmeli; ancak, ölçebildiğimiz bir sayı gibi değil. Bunu

daha etraflı olarak gelecek konuşmamda tartışacağım. Böyle güzel simetrilerle başlayan durumların ender olması nedeniyle bu klasik fizik için ilginç, önemli veya pratik bir özellik değil. Ancak, atomlar gibi çok basit sistemlerle uğraşan kuantum mekaniğinde, sistemlerin yapılarında çoğunlukla iki yönlü simetriye benzer bir simetri vardır ve simetri özelliği korunmaktadır. Bu nedenle, kuantum olgusunun anlaşılması yönünden önemli bir yasadır.

İlginç bir başka soru da, bütün bu korunum yasaları için daha derin bir temel olup olmadığı, veya onları oldukları gibi kabul edip etmeyeceğimiz konusudur. Bu soruyu bir sonraki konuşmamda ele alacağım, ancak, şimdi belirtmek istediğim önemli bir nokta var. Bütün bu düşünceleri herkesçe anlaşılabilir bir düzeyde tartıştığımızda, birbirleriyle ilintisiz bir sürü kavram varmış gibi görünüyor. Fakat bu farklı ilkeler daha derinden kavrandığında, aralarında çok derin karşılıklı ilişkilerin varolduğu ve her birinin bir şekilde bir başkasını çağrıştırdığı anlaşılıyor. Görecelik ve yerel korunum arasındaki ilişkiyi buna bir örnek olarak gösterebiliriz. Hiçbir açıklama yapmadan, hangi hızla gittiğimizi bilemeyeceğimiz ilkesinin, bizi, bir şeyin korunmasının bir yerden öbürüne sıçrama ile yapılamayacağı sonucuna götürdüğünü söylemiş olsaydım, bu bir mucize gibi görünebilirdi.

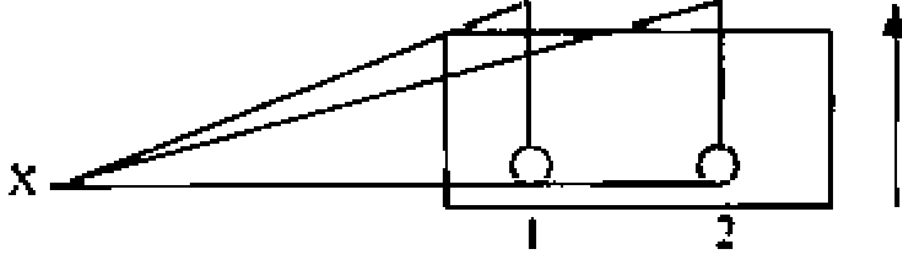
Şimdi açısal momentumun korunumu, momentumun korunumu ve bazı başka şeylerin birbirleriyle bir ölçüde nasıl bağlantılı olduğuna değineceğim. Açısal momentum hareket halindeki parçacıkların taradığı alanla ilgilidir. Birçok parçacık varsa (Şekil 21) ve çok uzakta olan (x)'i merkez olarak alırsanız, uzaklık bütün parçacıklar için hemen hemen aynıdır.



Şekil 21

Bu durumda taranan alan veya açısal momentumun korunumu için etken olan tek şey Şekil 21'de dikey olduğu görülen hareketin bileşenidir. O zaman kütlelerin her biri dikey hızlarıyla çarpıldığında elde edilen toplamın da sabit olması gerekir. Çünkü bir nokta etrafındaki açısal momentum

sabittir ve seçilen nokta çok uzakta olduğundan değişen yalnızca kütleler ve hızlardır. Böylece, açısal momentumun korunumu, momentumun da korunduğu sonucunu verir. Bu da başka bir şeyi, başka bir şeyin korunumunu çağrıştırır. Bu korunan şeyler birbiriyle çok yakın ilişkili oldukları için tabloya koymaya gerek görmedim. Bu, ağırlık merkezi ile ilgili bir ilkedir (Şekil 22).



Şekil 22

Bir kutu içindeki bir kütle bir noktada gözden kaybolup başka bir noktaya kendiliğinden gitmez. Bunun kütlenin korunumu ile bir ilgisi yoktur; kütle yine vardır; ancak bir yerden başka bir yere gitmiştir. Elektrik yükü bunu yapabilir ama kütle yapamaz. Nedenini açıklayayım. Fizik yasaları hareketten etkilenmez. Şimdi kutunun yavaş yavaş yukarıya doğru gittiğini varsayalım ve çok uzak olmayan bir x noktası etrafındaki momenti hesaplayalım. Kutu yukarıya doğru çekilirken kütle kutunun içinde 1 noktasında hareketsiz kalıyorsa, belirli bir hızla bir alan oluşturacaktır. Kütle, 2 noktasına gittiğinde alan büyük bir hızla artacaktır. Çünkü, kutu yukarı çekildiğinde yükseklik aynı kaldığı halde x'den kütleye olan uzaklık artmıştır. Açısal momentum korunduğu için, alanın büyüme hızını değiştiremezsiniz. Bu nedenle, eğer bir başka itme ile açısal momenti dengelemezseniz kütleyi bir yerden başka bir yere hareket ettiremezsiniz. Roketlerin boşlukta gidememe nedeni budur... ama gidiyorlar! Birçok kütleyi ele alarak düşünürseniz görürsünüz ki birini ileriye doğru götürdüğünüzde diğerlerini geriye doğru götürmeniz gerekmektedir. Böylece kütlelerin ileriye ve geriye doğru hareketlerinin toplamı sıfır olur. Roket böyle çalışır. Önce boşlukta hareketsiz durmaktadır; sonra arkasından gaz püskürtür ve ileriye doğru gider. Önemli olan şey, kütle merkezinin, bütün kütlenin ortalamasının, daha önce olduğu yerde kalmış olmasıdır. İlginç olan kısım ileriye doğru gitmiş, ilginç olmayan, bizim ilgilenmediğimiz kısım da geriye doğru gitmiştir. Dünyadaki ilginç şeylerin

korunduğunu söyleyen bir teorem yoktur; yalnızca her şeyin toplamı korunur.

Fizik yasalarını keşfetmek bulyap bilmecesindeki parçaları bir araya getirmeye benzer. Birçok parça var ve şimdilerde de bunların sayısı hızla artıyor. Birçoğu diğerleriyle uyuşmuyor ve ortalıkta duruyor. Aynı şeyin parçaları olduklarını nereden biliyoruz? Gerçekten de henüz tamamlanmamış tek bir resmin parçaları endişeliyiz; ancak, bazı parçaların ortak özellikleri bize umut veriyor. Mavi gökyüzünü gösterenler veya aynı cins tahtadan yapılanlar... Çeşitli fizik yasalarının hepsi aynı korunum ilkelerine itaat etmektedir.

Fizik Yasalarında Simetri

Simetri, insan beyni için adeta büyüleyicidir. Doğadaki simetrik şeylere, Güneş ve gezegenler gibi kusursuz simetrik kürelere, kar tanecikleri gibi simetrik kristallere, hemen hemen simetrik olan çiçeklere bakmaktan zevk alırız. Ancak benim burada tartışacağım konu doğadaki nesnelerin simetrisi değil, doğa yasalarının kendilerinin simetrisidir. Bir cismin simetrik olup olmadığı kolayca anlaşılabilir; ama bir fizik yasası nasıl simetrik olabilir? Tabii ki olamaz. Ancak, fizikçiler günlük sözcükleri başka türlü kullanmayı pek severler. Simetri Söz konusu olduğunda ise, nesnelerdeki simetrinin uyandırdığı duyguya benzer bir şeyi fizik yasaları için duyumsayarak, ona yasaların simetrisi adını vermişlerdir. Simetri nedir? Bana baktığınızda, en azından dışarıdan simetrik görünürüm (sağ ve sol). Bir vazo da aynı veya başka bir şekilde simetrik olabilir. Bunu nasıl tanımlayabilirsiniz? Benim "sağ ve sol simetrik" olmam şu anlama gelir: Bir taraftaki bir şeyi öbür tarafa aktarır, iki tarafın yer değiştirmesini sağlarsanız görünüm tamamen aynı kalır. Kare özel bir simetriye sahiptir; onu 90° döndürürsem de aynı görünür. Matematikçi Profesör Weyl[17] simetri için çok güzel bir tanım vermiştir: Eğer bir nesne üzerinde bir şey yaptıktan sonra da nesne ilk halinde görünüyorsa, eğer nesnede bunu yapmaya olanak veren bir şey varsa, o nesneye simetrik denir. Biz de fizik yasalarının bu anlamda simetrik olduklarını söylüyoruz. Fizik yasaları, veya onların ifade şekilleri üzerinde, onları hiç bir şekilde değiştirmeyen bazı şeyler yapabiliyoruz. Bu derste fizik yasalarının bu yönünü ele alacağız.

Bu tür bir simetrinin en basit bir örneği uzayda ötelemedir (translation). Bunun, aklınıza gelebilecek sağ-sol simetrisi veya buna benzer bir şey olmadığını göreceksiniz. Şöyle açıklayalım; Herhangi bir cihaz yaparsanız, veya bazı şeylerle bir deney yaparsanız ve sonra da yine aynı cihazı veya deneyi aynı şeylerle, ama orada değil de burada, yalnızca bir yerden başka bir yere ötelenmiş olarak yaparsanız, orijinal deneyde gerçekleşen şey,

ötelenmiş deneyde de aynen elde edilir. Bu, gerçekte tam doğru değildir. Bir cihaz yapıp onu bulunduğum yerin 10 metre soluna naklедersem, cihaz duvara çarpar ve işler zorlaşır. Bu kavramı açıklarken, durumu etkileyebilecek her şeyi dikkate almak, bir şeyi naklederken her şeyi birlikte nakletmek gerekir. Örneğin, eğer sistemde bir sarkaç varsa ve onu 20. 000 mil sağa kaydırırsam sistem doğru işlemez; çünkü sarkaç yerin çekim kuvveti ile ilişkilidir. Ancak, teçhizatla birlikte dünyayı da naklедersem, o zaman sistemin davranışı etkilenmez. Buradaki problem, durumu etkileyebilecek her şeyi nakletme zorunluluğudur. Biraz saçma gelebilir; sanki bir deneyi öteledikten sonra sonuç olumsuz çıkarsa, gerekli her şeyi taşımadığmızı varsayabilirsiniz -böylece hep siz haklı olursunuz. Gerçek böyle değildir; çünkü mutlaka siz kazanacaksınız diye bir şey yoktur. Doğanın ilginç yani, aynı şekilde davranması için yeterince şeyi nakletmenin mümkün olmasıdır. Bu olumlu bir ifadedir.

Söylediklerimin gerçekliğini göstermek istiyorum. Nesneler arasındaki kuvvetin, aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılı olarak değiştiğini söyleyen yerçekim yasasını örnek olarak alalım. Bir cismin bir kuvvete, hızım zamanla ve kuvvet yönünde değiştirerek karşılık verdiğini hatırlatmak isterim. Güneş ve çevresinde dönen bir gezegen gibi iki cisim ele alalım; her ikisini de ötelersem, aralarındaki uzaklık değişmez, kuvvetler de değişmez. Bundan başka, yeni konumlarında eski hızlarıyla hareket ederler, bütün değişimler aynı oranda olur ve her iki sistemdeki her şey aynı şekilde hareket eder. Yasada evrenin belirli bir merkezinden olan uzaktan değil, “iki cisim arasındaki uzaklık”tan sözedilmesi, yasaların uzayda ötelenebilecekleri anlamına gelmektedir.

Demek oluyor ki, ilk simetrimiz uzayda ötelemedir. İkincisini de zamanda erteleme veya daha iyisi, “zamanda ertelemenin farketmemesi” olarak nitelendirebiliriz. Bir gezegeni Güneş çevresinde belirli bir yönde harekete geçirelim. Onu iki saat sonra, veya iki yıl sonra, yani farklı bir anda aynı şartlarla yeniden harekete geçirirsek tamamen aynı şekilde hareket edecektir; çünkü çekim yasası hızdan bahseder, ama ölçüme başladığımız mutlak an hakkında bir şey söylemez. Gerçekte bu örneğin tam doğru olduğundan emin değiliz. Yerçekimini incelerken çekim kuvvetinin zamanla değişebileceğinden söz ettik. Bu olanak, zaman ertelemesinin simetrik olamayacağı anlamına gelir. Çünkü milyarlarca yıl sonra çekim sabiti şimdikinden daha zayıf olacaksa, bizim deneysel Güneş ve gezegenimizin hareketlerinin milyarlarca yıl sonra aynı olacağı da doğru

olamaz. Bugün bilebildiğimiz kadarıyla (yasaları hep bugün bilebildiğimiz kadarıyla irdeliyorum; onları yarın bilebileceğimiz kadarıyla irdeleyebilmeyi çok isterdim!) zamanda bir erteleme hiç bir değişikliğe yol açmamaktadır.

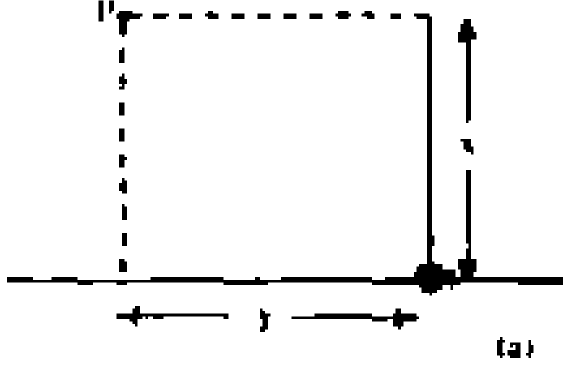
Bunun bir bakımdan, tam doğru olmadığını biliyoruz; ancak bugün fizik yasaları dediğimiz şeyler için doğrudur. Dünya'nın gerçeklerinden birisi şudur: Evren sanki belirli bir anda başlamış ve her şey patlayarak yayılmaktaymış gibi görünüyor. Buna coğrafi bir koşul diyebilirsiniz; uzayda öteleme yaptığımda her şeyi ötelemem gerektiğine benzer bir durum. Aynı anlamda, zaman için de yasaların aynı olduğunu ve evrenin yayılmasını da her şeyle birlikte ötelememiz gerektiğini söyleyebilirsiniz. Evreni daha sonra başlatabileceğimiz bir başka analiz de yapabilirdik. Ancak evreni biz başlatmıyoruz, durum üzerinde hiç kontrolümüz yok ve bu fikri deneysel olarak tanımlayabileceğimiz bir yol da yok. Demek ki, bilimsel olarak bundan emin olamayız. İşin esası şudur; Görünüşe göre Dünya'nın koşulları zamanla değişiyor; galaksiler birbirinden uzaklaşıyor; ve eğer bir bilim kurgu öyküsünde bilinmeyen bir anda uyanırsanız, galaksilere olan ortalama uzaklığı ölçerek zamanı saptayabilirsiniz. Bu da, zaman içinde ertelenirse, Dünya'nın aynı görünmeyeceği anlamına gelir.

Günümüzde, belli bir koşul altında harekete geçirilen cisimlerin hareketlerini anlatan fizik yasalarını, Dünya'nın gerçekte nasıl başladığı konusundaki beyanlardan ayırma yoluna gitmek adet olmuştur; çünkü bu konuda çok az şey bilmekteyiz. Astronomi veya kozmoloji tarihinin fizik yasalarından biraz farklı oldukları düşünülmektedir. Ama farkın ne olduğunu söylemem gerekirse zor durumda kalırım. Fizik yasasının en iyi özelliği onun evrensel olmasıdır; ve eğer "evrensel" olan bir şey varsa o da bütün yıldız kümelerinin yayıl masıdır, Bu nedenle, farkı tanımlayacak bir yöntem bilmiyorum. Bununla beraber evrenin başlangıcım bir yana bırakıp yalnızca bilinen fizik yasalarını düşünürsek zaman ertelemesinin hiç fark yaratmadığını söyleyebilirim.

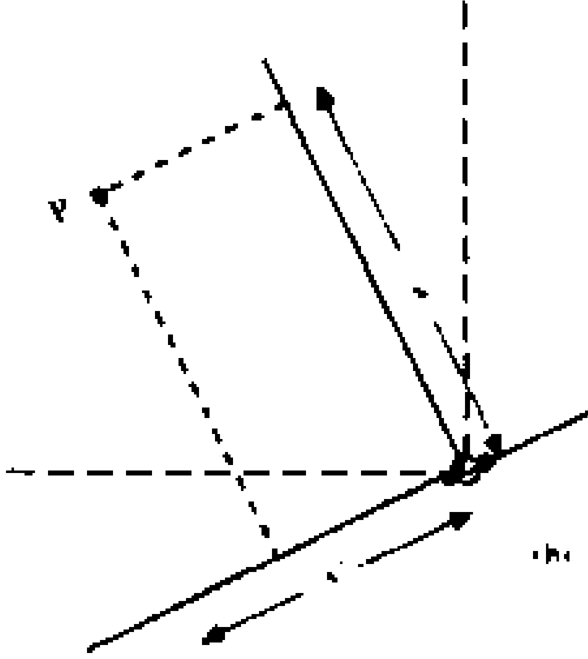
Simetri yasalarından başka örnekler ele alalım. Bunlardan birisi uzayda rotasyon, sabit rotasyondur. Bir yerde kurulmuş bir donanım ile deneyler yaptıktan sonra yalnız eksenleri farklı yönde olan tam bir benzerini alırsak (ayağımıza dolaşmaması için ötelememiz gerekebilir) o da aynı şekilde çalışacaktır. Burada da yine ilgili olan her şeyi döndürmemiz gerekir. Söz konusu olan sarkaçlı bir duvar saati ise ve saati yatay olacak şekilde

döndürürsek sarkaç kabinenin duvarına dayanacak ve saat işlemeyecektir. Ama Dünya'yı da döndürürseniz (o zaten sürekli dönmektedir) saat yine çalışmasına devam eder.

Bu “döndürme olanağının” matematiksel ifadesi oldukça ilginçtir. Belirli bir durumda ne olup bittiğini anlatırken bir şeyin nerede olduğunu belirtmek için sayılar kullanırız. Bunlar bir noktanın koordinatları olarak adlandırılır. Bazen de bir noktanın bir düzlemden ne kadar yüksekte, ne kadar önde (arkada ise negatif sayılarla) veya ne kadar solda olduğunu belirtmek için üç sayı kullanırız. Böyle olunca, aşağıyı ve yukarıyı düşünmem gerekmez; çünkü rotasyon için bu üç koordinattan ikisini kullanmam yeterlidir. Önümdeki uzaklığa x diyelim, y de soldaki uzaklık olsun. O zaman bir cismin yerini önden ne kadar, soldan ne kadar uzakta olduğunu söyleyerek belirtebilirim. New York kentinden gelenler sokak numaralarının da aynı şekilde düzgünce işlediğini (ya da 6. Cadde'nin adı değiştirilene kadar pek güzel işlemiş olduğunu!) bilirler. Döndürme konusundaki matematiksel yaklaşım şöyledir; (Şekil 23) Bahsettiğim yöntemle x ve y koordinatlarını vererek bir noktanın konumunu saptarsam; başka yönden bakan bir başkası da aynı şekilde, fakat kendi konumuna göre aynı noktanın konumunu x' ve y'olarak saptayacaktır.



P noktasının bana göre konumu x, y, gibi iki sayı ile belirlenen, x, P'nin benim ne kadar önümde, y de ne kadar solumda olduğunu gösterir



Ben aynı konumda kalıp farklı yöne döndüğümde P noktası x', y' gibi iki yeni sayı ile belirlenir

Şekil 23

Şekil 23

O halde, benim x koordinatımın öteki kişi tarafından hesaplanan iki koordinatın bir karışımı olduğunu anlayabilirsiniz. Dönüşümün bağlantısı, x için x' ve *y'*, y için y' ve x' karışımı bir ifade olacaktır. Doğa yasaları o şekilde yazılmalıdır ki böyle bir karışım yapıp denklemlerde yerine koyduğumuzda denklemlerin şekli değişmesin. Simetrinin matematiksel ifade yolu budur. Denklemleri bazı harflerle yazarsınız; harfleri x ve y yerine farklı bir x olan x' ve farklı bir y olan y' ile değiştirme yöntemi, yani x ve y cinsinden formüller vardır, O zaman denklemlerin görünümü aynıdır, yalnız harflerin üzerinde “ ' ” işareti vardır. Bu, öbür kişinin o şeyi benim

gördüğüm şekilde, yalnız öbür tarafa çevrilmiş olarak gördüğü anlamına gelir.

Simetri yasasına çok ilginç başka bir örnek vereceğim: düz doğru boyunca düzgün hız problemi. Fizik yasalarının düz doğru boyunca sabit hız altında değişmediği sanılmaktadır. Buna görecelik ilkesi denir. Bir uzay gemimiz ve içinde birtakım işlevler yüklenmiş bir donanım olduğunu düşünelim. Eğer uzay gemisi düzgün hızla gidiyor ve içerideki birisi de cihazda neler olup bittiğini gözlüyorsa gördükleri, yerde olan benim cihazımda, benim gördüklerimden farklı bir şey olamaz. Ancak, eğer dışarıya bakarsa, veya bir dış duvara çarparsa, ya da buna benzer bir şey olursa durum farklıdır; ama düz doğru boyunca sabit hızla gittiği sürece fizik yasaları ona aynen bana göründükleri gibi görüneceklerdir. Durum böyle olunca da kimin hareket ettiğini bilemem.

Bu konuya devam etmeden önce bazı şeyleri vurgulamam gerekir. Bütün bu dönüşüm ve simetrilerde bütün evrenin yer değiştirmesinden söz etmiyoruz. Zaman konusuna gelince, tüm evrendeki bütün zamanı erteleme durumu için de bir şey söylemiyorum. Yani evrendeki her şeyi başka bir yere götürdüğümde aynı şekilde davranacağını içeren bir şey söylemiyorum. Önemli olan şudur: Bir cihaz alsam ve onun yerini değiştirsem; sonra, gereken her cihazın alınmasını ve her koşulun yerine getirilmesini de sağlasam; dünyanın bir parçasını alıp onu diğer bütün yıldızların ortalamasına göre hareket ettirebilirim; bu yine de bir fark yaratmaz. Görecelik bakımından bunu şöyle açıklayabiliriz: Bir doğru boyunca bütün yıldız kümelerinin ortalamasına göre sabit hızla hareket eden bir kimse hiçbir etki gözlemez. Başka bir deyişle, bir otomobil içinde, dışarıya bakmadan, bütün yıldızlara göre hareket halinde olup olmadığınızı herhangi bir deney yoluyla anlayamazsınız.

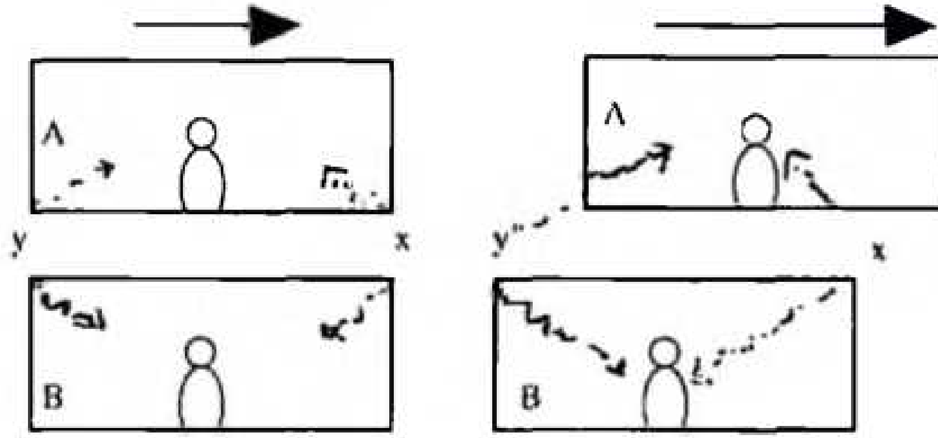
Bu önerme ilk kez Newton tarafından ifade edilmişti. Onun çekim yasasını ele alalım. Yasa kuvvetlerin, uzaklığın karesi ile ters orantılı olduğunu ve kuvvetin bir hız değişimine neden olduğunu söylüyor. Bir gezegenin sabit bir Güneş çevresinde hareket etmesi durumunda ne olup bittiğini bildiğimi varsayalım. Şimdi de bir gezegenin uzayda seyreden bir güneş çevresinde döndüğü zaman ne olacağını bilmek istiyorum. Birinci durumda bulduğum bütün hızlar ikinci durumda değişirler; sabit bir hız eklemem gerekir. Ancak, yasa hızdaki *değişimler* bakımından ifade edilmiştir. Böyle sabit bir güneşin gezegene etkilediği kuvvet, hareket eden

güneşin gezegene etkilediği kuvvete eşit olduğundan her iki gezegenin hız değişimi aynı olacaktır, ikinci gezegenin başlangıçta sahip olduğu fazladan hız devam edecek, ve bütün değişimler bunun üstüne eklenecektir. Bunun matematiksel sonucu şudur: Sabit bir hız ilave ederseniz yasalar değişmez, bu nedenle de güneş sistemini ve çevresinde dönen gezegenlerin hareketlerini inceleyerek güneşin uzayda yol alıp almadığını anlayamayız. Newton'un yasasına göre böyle bir seyretmenin güneş çevresindeki gezegenlerin hareketlerine hiç bir etkisi yoktur. Bu nedenle Newton şunu da ekledi: "Uzay bazı sabit yıldızlara göre durağan olsa da, düz bir doğru boyunca sabit hızla hareket etse de, cisimlerin uzayda birbirlerine göre hareketleri aynıdır." Zamanla, Newton'dan sonra, başka yasalar da keşfedildi. Maxwell'in[18] keşfettiği elektrik yasaları da bunlar arasındadır. Elektrik yasalarının sonuçlarında birisi de şuydu: Saniyede *tamıtamına* 186.000 mil hızla giden dalgalar, elektromanyetik dalgalar -ışık bir örnektir- var olmalıydı. Bununla hızın, her durumda saniyede 186.000 mil olduğunu kastediyorum. Artık gerisini söylemek kolaydı; çünkü ışığın hızının saniyede 186.000 mil olduğunu söyleyen yasa, bunun hiçbir etki göstermeden hareket etmeye izin veren bir yasa olamayacağım (ilk bakışta) düşündürüyor. Eğer, ben hareketsiz dururken ve siz uzay gemisinde saniyede 100.000 mil hızla herhangi bir yönde giderken, geminizdeki ufak bir delikten size saniyede 186.000 mil hızla giden bir ışık huzmesi göndersem; siz saniyede 100.000 mil, ışık ise 186.000 mil hızla gittiğiniz için, ışık geminizden geçerken hızı saniyede 86.000 mil gibi görünecektir. Ancak, bu deneyi yaparsanız ışık size saniyede 186.000 mil hızla geçiyormuş gibi gelecek, bana da saniyede 186.000 mil hızla gidiyormuş gibi gelecektir!

Doğadaki olguları anlamak kolay değildir. Bu deneyin ortaya koyduğu gerçek, gündelik mantığa o denli aykırı düşmektedir ki bu sonuca hâlâ inanmayanlar var! Ancak, birçok kereler tekrarlanan deneyler, sizin hızınız ne olursa olsun, ışığın hızının hep saniyede 186.000 mil olduğunu ortaya koymuştur. Bu nasıl olabilir? Einstein ve Poincaré[19] duran bir kişi ile hareket eden bir kişinin, hızı ölçtüklerinde aynı sonucu bulmalarının, yalnızca, onların uzay ve zaman kavramlarının farklı olmasıyla, uzay gemisindeki bir saatin yerdekilerden farklı bir hızla işlemesiyle mümkün olacağını gördüler. "Ama eğer saat yavaş çalışıyorsa, uzay gemisinde saate baktığımda onun yavaş çalıştığını görürüm," diyebilirsiniz. Hayır, uzay gemisinde sizin beyniniz de yavaş çalışır! Uzay gemisinin içinde her şeyin

gerçekten böyle geçtiğinden emin olmak için geminin içinde bir uzay gemisi-saniyesinde 186.000 uzay gemisi-mili, yerde ise *benim* saniyemde 186.000 *benim* milim görünecek şekilde bir sistem tasarlanabilir. Bunu yapabilmek büyük maharet gerektirir; ve inanılması ne kadar güç de olsa bunun mümkün olduğu anlaşılıyor.

Görecelik ilkesinin bir sonucundan daha önce söz etmiştim; düz bir doğru üzerinde hareket ederken hızınızın ne olduğunu bilemezsiniz.



Olayların gerçekleştiği andaki konumlar   B'nin olayları gördüğü andaki konumlar

Hatırlarsanız son dersimizde A ve B gibi iki aracımız vardı (Şekil 24) ve bu aracın iki ucunda yer alan bir olay söz konusuydu. Bir adam aracın ortasında durmaktaydı ve olaylar (x ve y) belirli bir anda aracın iki ucunda aynı anda gerçekleşmişti. Adam olayların iki uçta da aynı anda gerçekleştiğini söyledi; çünkü aracın ortasında olduğu için iki uçtaki ışığı aynı anda görmüştü. A aracındaki kişi ise B'ye göre sabit hızla öne doğru hareket ettiği için x'deki ışık ona y'deki ışıktan önce geldiğinden, iki olayı aynı anda görmedi; önce x'i gördü. Gördüğünüz gibi, düz doğru boyunca sabit hızla hareket konusunda simetri -simetri sözcüğünün anlamı, kimin gördüğü şeyin doğru olduğunun bilinemeyeceği oluyor- ilkesinin sonuçlarından birisi şu: Dünya'da "şu anda" olanlardan söz ettiğimiz zaman "şu an"ın bir anlamı yoktur. Düz doğru boyunca sabit hızla hareket ederseniz, size aynı-anda gerçekleşiyor gibi görünen olaylar, bana aynı-anda gerçekleşiyor gibi görünen olaylardan farklıdır; eşzamanlı olayın gerçekleştiği anda birbirimizi geçiyor olsak bile. Aramızda bir uzaklık olunca "şu anda"nın üzerinde anlaşanlayız. Bu demektir ki, düz doğru boyunca sabit hızla hareketin bilinemeyeceği ilkesinin benimsenmesi, uzay

ve zaman kavramlarımızda derin değişimleri zorunlu kılar. Burada olan gerçekte şöyle açıklanabilir: Bir bakış açısından eşzamanlı gibi görünün iki olay, eğer olaylar aynı konumda değil de birbirinden uzakta gerçekleşiyorsa, başka bir bakış açısından eşzamanlı görünmeyecektir.

Bunun uzaydaki x ve y işine çok benzediğini sanırım görüyorsunuz. Yüzüm dinleyicilere dönük olarak durduğumda, üstünde durduğum sahnenin iki duvarı benimle aynı düzeydedir; x'leri aynı ama y'leri farklıdır. 90° dönüp aynı iki duvara farklı bir açıdan baktığımda ise, birisi önümde diğeri de arkamdadır ve x'leri farklıdır. Demek ki, bir bakış açısından eşzamanlı (aynı t) görünen iki olgu, başka bir bakış açısından farklı zamanlarda (farklı t') gerçekleşiyormuş gibi görünebilir. Daha önce açıkladığım iki boyutlu rotasyon, bu nedenle, uzay ve zamana genelleştirilmiş, uzaya zaman da eklenerek dört boyutlu dünya oluşturulmuştur. Bu, çoğu popüler kitapta söylendiği gibi, "uzaya zaman ekleriz; çünkü bir noktayı yalnızca nerede olduğu ile saptayamayız, ne zaman olduğunu da söylemeliyiz," türünden yapay bir ilave değildir. Söylenen doğrudur; ancak onu gerçek dört boyutlu uzay-zaman yapmaz, iki şeyi birleştirmekten ibaret kalır. Gerçek uzay, bir anlamda, bakış açısından bağımsız bir varlığa sahip olma özelliği taşır. Farklı açılardan bakıldığında bir ölçüde "ileri-geri" ile "sağ-sol" karıştırılabilir. Bunun gibi, bir miktar zaman, "geçmiş-gelecek", bir miktar uzayla karışabilir. Uzay ve zaman birbirine bütünüyle kenetlenmiş olmalıdır. Bu keşiften sonra Minkowski "Kendi başına uzay ve kendi başına zaman karanlığa gömülürler; yalnızca ikisi arasındaki bir tür birleşim varolmaya devam eder," demiştir.

Bu özel örnek üzerinde bu kadar ayrıntıyla durmamın nedeni, onların fizik yasalarındaki simetrinin incelenmesinde öncülük yapmış olmalarıdır. Denklemlere, onları değiştirmeden uygulanabilecek şeylerin incelenmesi Poincaré'nin fikriydi. Fizik yasalarının simetrilerine önem vermek de onun fikriydi. Uzayda öteleme, zaman ertelemesi, vb. gibi simetriler çok derin değildirler; fakat düz doğru üzerinde sabit hızın simetrisi çok ilginçtir ve pek çok sonuçları vardır. Bunun ötesinde, bu sonuçların yeni yasalara genişletilebilme olanakları vardır. Örneğin, bu ilkenin mu-mezon parçalanması için de doğru olduğunu tahmin ederek, bir uzay gemisinde hangi hızla gittiğimizi mu-mezonları kullanarak bilemeyeceğimizi söyleyebiliriz. Böylece mu-mezonların neden dağıldıklarını bilmesek bile hiç olmazsa onlar hakkında bir şeyler öğrenmiş oluruz.

Bunlardan başka çok değişik türden bazı simetriler vardır. Yalnızca birkaçından söz edeceğim. Bunlardan birisi şudur: Bir atomu aynı türden bir başka atomla değiştirmek olanaklıdır ve bu, olgular bakımından bir fark meydana getirmez. Şimdi bana “Aynı türden demekle ne kastediyorsunuz?” diye sorabilirsiniz. Ben de, birinin diğerinin yerine konulması durumunda hiçbir şeyin fark etmeyeceği şeklinde yanıt verebilirim! Fizikçiler, bir balama, hep saçma sapan şeyler söylüyorlarmış gibi görünüyor, değil mi? Çok farklı atom türleri vardır; birbirinin yerine farklı türden atomlar koyarsanız bir şeyler farkeder; ama aynı türden olanlarını koyarsanız hiçbir şey fark etmez. Bu, biraz başladığı yere geri dönen yuvarlak bir tanıma benziyor. Gerçek anlamı ise şudur: Aynı türden atomlar gerçekten *vardır* ve birbirlerinin yerine geçmeleri hiçbir değişikliğe neden olmayan bir grup, bir sınıf atom bulmak *mümkündür.* En ufak bir madde parçasında 1 rakamına 23 kadar sıfır yazarak elde edilecek sayı kadar atom bulunduğu düşünülürse, hepsinin aynı olmaları önemlidir. Bunların birkaç yüz gibi sınırlı sayıda atom türü şeklinde sınıflandırılabilmeleri gerçekten çok ilginçtir. Bu nedenle, bir atomun aynı türden bir atomla değiştirilebildiği yolundaki ifadenin anlamı hayli geniştir. En geniş kapsamlı olanak kuantum fiziğinde yer almaktadır. Ancak bu konuyu şimdi açıklamam olanaksız; nedeni de kısmen, ama yalnızca kısmen, bu dersin matematik eğitimi görmemiş dinleyicilere hitap etmesidir. Konu oldukça derindir. Bir atomun aynı türden bir başka atomla değiştirilebilmesi kuantum fiziğinde harika sonuçlara yol açar. Sıvı helyum da tuhaf bir olguya neden olur: Bir borudan akan sıvı hiçbir dirençle karşılaşmadan sonsuza kadar akar. Gerçekte elementlerin periyodik tablosunun kökeni ve benim tabandan içeriye doğru geçmememin nedeni de budur. Bunların ayrıntılarına girmem olanaksız. Sadece bu ilkeleri araştırmanın önemini vurgulamak istiyorum.

Bu aşamada, sanırım, fizik yasalarının her türlü değişiklik altında simetrik olduğu kanısına vardınız. Şimdi de bunun geçerli olmadığı bazı örneklerden söz edeceğim. Birincisi ölçek değişimidir. Bir cihaz yaptınız; sonra, her paçası aynı olan, aynı maddeden yapılmış, ancak iki katı büyüklükte bir benzerini yaparsanız bunun da aynı, tamamen aynı şekilde çalışacak olduğu doğru değildir. Atomlara aşinalığı olan sizler bunu bilirsiniz. Çünkü eğer cihazı, diyelim, on milyar kere küçültürseniz içinde yalnızca beş atom kalır; ve ben beş atomla, örneğin, bir mekanik alet yapamam. İşi bu kadar ileriye götürürsek ölçeği değiştiremeyeceğimiz apaçık ortadadır. Fakat atom kavramının tam olarak gelişmesinden önce de

bu yasanın doğru olmadığı anlaşılmıştı. Arada sırada gazetelerde birisinin kibrit çöpleriyle bir katedral yaptığını -birkaç katlı, herhangi bir gotik katedralden 'daha gotik' ve zarif bir katedral yaptığını- okumuşsunuzdur. Neden kalın kütüklerden buna benzer, büyük ve aynı şekilde süslü ve ayrıntılı katedraller yapmaya kalkışmıyoruz? Yanıtı şu: Öyle bir şey yaparsak o denli yüksek ve ağır olur ki, çöker. Ama yine unuttuğumuz bir şey var. iki şeyi kıyasladığınızda sistemdeki her şeyi değiştirmemiz gerekir. Kibrit çöpleriyle yapılmış küçük katedral Yer’e doğru çekilmektedir. Büyük katedral de daha büyük bir dünyaya doğru çekilmelidir. Yazık! Daha büyük bir dünya daha fazla çeker ve çöpler daha kolay kırılır.

Ölçek değiştirildiği zaman fizik yasalarının değişmez olmadığını ilk keşfeden Galileo olmuştur. Galileo kemik ve çubukların dayanıklılığım tartışırken, daha büyük bir hayvan için -iki katı eninde, boyunda ve kalınlığında diyelim- daha büyük kemik gerektiğini, ağırlığın sekiz kat olacağını ve sekiz kat daha dayanıklı bir kemiğe gerek olduğunu ileri sürdü. Bir kemiğin taşıyabileceği yük onun kesitine bağlıdır; kemiği iki kat büyütürseniz kesit alanı dört kat artar ve ancak dört kat fazla bir ağırlık çeker.

Galileo’nun *Dialogue on Two New Sciences* (iki Yeni Bilim Üzerinde Konuşmalar) adlı kitabında kocaman köpeklere ait olağanüstü büyük hayalî kemiklerin resimlerini görebilirsiniz. Sanırım Galileo doğa yasalarının ölçek değişimi altında değişmez olmadığı keşfinin, hareket yasaları kadar önemli olduğunu fark etmişti. Çünkü *Two New Sciences* kitabında her ikisine beraberce yer veriyor.

Simetri yasası olmayan bir başka örnek de şudur: Eğer bir uzay gemisi içinde, sabit bir açısal hızla kendi etrafınızda dönüyorsanız, dönüp dönmediğinizi bilemeyeceğinizi söylemek doğru değildir. Çünkü bilirsiniz. Başınızın döneceğini söyleyebilirim. Başka etkiler de vardır; merkezkaç kuvvetinin (bu, belki başka bir terimle ifade edilebilir -dinleyiciler arasında beni düzeltecek bir fiziğe giriş dersi hocasının bulunmadığını umarım!) etkisiyle cisimler etrafa fırlatılır. Dünya’nın döndüğü, bir sarkaç veya ciroskopla saptanabilir. Birçok gözlemevi ve laboratuvarda Dünya’nın döndüğünü yıldızlara bakmadan kanıtlayan Foucault[20] sarkacı olduğunu herhalde biliyorsunuzdur. Dünya üzerinde sabit açısal hızla döndüğümüzü dışarıya bakmadan söyleyebiliriz. Çünkü böyle bir hareket altında fizik yasaları değişmez değildir.

Birçok kişi Dünya’nın gerçekten galaksilere göre döndüğünü ve galaksileri de döndürürsek hiçbir fark olmayacağını ileri sürmüştür. Bütün evreni döndürdüğünüzde ne olacağını bilemem; şu anda bunu saptama olanağımız yok. Ayrıca şu anda galaksilerin buradaki cisimler üzerindeki etkisini açıklayan bir teorimiz de yok. Olsaydı bu teoriden -zorlayarak veya aldatmaca ile değil, doğrudan doğruya- dönme eylemsizliğinin, rotasyonun etkisinin, dönen bir kova içindeki su yüzeyinin içbükey olmasının, çevremizdeki cisimlerin uyguladığı kuvvetin birer sonucu olduğunu çıkarabilirdik. Bunun doğru olup olmadığını bilmiyoruz. Böyle olması gerektiği Mach ilkesi olarak bilinir; ancak, böyle olduğu henüz gösterilmemiştir. Daha belirgin olan deneysel bir soru da, eğer yıldız kümelerine göre sabit bir hızla dönüyorsak herhangi bir etki görüp görmediğimizdir. Yanıt olumludur. Bir uzay gemisinde düz doğru boyunca yıldız kümelerine göre sabit bir hızla yol aldığımızda, bir etki görür müyüz? Yanıt olumsuzdur. Bu ikisi farklı şeylerdir. Bütün hareketlerin göreceli olduğunu söyleyemeyiz. Göreceliğin içerdiği bu değildir. Görecelik bize düz doğru üzerinde, yıldız kümelerine göre sabit hızla hareketin bilinemeyeceğini söyler. Şimdi sizlere kendisi de, tarihçesi de ilginç olan bir simetri yasasından söz edeceğim: uzayda yansıma problemi. Bir cihaz, diyelim bir saat yaptım. Sonra da biraz ötede birincisinin ayna görüntüsü olan ikinci bir saat yaptım. İki eldiven gibi birbirlerine denkler, sol ve sağ; birisinde bir yönde dönen bir yay diğerinde ters yönde dönüyor, vb. iki saati kurup, karşılıklı yerleştirip tik-taklamaya bırakıyorum. Soru, ikisinin birbiriyle hep uyumlu olup olmayacağıdır. Birinde varolan bütün mekanizma ayna görüntüsünde de çalışacak mıdır? Bu konudaki tahmininizin ne olacağını bilmiyorum. Belki yanıtın olumlu olduğunu düşüneceksiniz; çoğunluk da böyle düşündü. Kuşkusuz, coğrafyadan söz etmiyoruz. Coğrafyada sağı ve solu ayırt edebiliriz. Florida’da durup New York’a baktığımızda okyanusun sağımızda olduğunu söyleyebiliriz. Bu, sol ve sağı belirler. Eğer saat deniz suyuyla çalışıyorsa, başka yere koyarsak, su almayacağından saat çalışmayacaktır. Bu durumda Dünya’nın coğrafyasının da ‘öbür tarafa’ döndürüldüğünü varsaymamız gerekecektir; ilintili her şey ‘öbür tarafa’ döndürülmelidir. Geçmişle de ilgili değiliz. Bir torna atölyesinde elinize bir civata alırsanız, dişlerinin sağ yönlü olması çok olasıdır. Öbür saatin aynı olamayacağını, o tür civatanın zor bulunduğunu ileri sürebilirsiniz. Bu, ne tür şeyler yaptığınızla ilgili bir şeydir, ilk tahminin, hiçbir şeyin fark etmediği şeklinde olması olasıdır. Sonuçta ortaya

çıkan şudur: Saat yerçekimi ile çalışsaydı, yerçekimi yasaları öyledir ki hiçbir şey değişmezdi ve saat çalışırdı. Elektrik ve manyetizma yasaları da aynı durumdadır; saat diğer şeyler yanında elektrik ve bazı bağlantılar, akımlar, teller vs. içerseydi ikinci saat yine çalışırdı. Saatin çalışması için normal nükleer reaksiyon gerekseydi bu da bir değişiklik yaratmazdı. Fakat değişiklik yaratan bir şey vardır; ona az sonra geleceğim.

Polarize bir ışığı sudan geçirerek sudaki şeker yoğunluğunun saptanabileceğini belki duymuşsunuzdur. Suya, ışığı ancak belirli bir eksende geçiren bir parça polaroid koyarsanız, ışığın giderek derinleşen şekerli sudan geçmesini sağlamak için, öbür uçtaki polaroid maddeyi giderek daha fazla sağa çevirmeniz gerekir. Sudan geçen ışığı öbür yöne çevirirseniz dönme yine sağa doğru olacaktır. Öyleyse burada sol ve sağ arasında bir fark vardır. Saatlerde şekerli su ve ışık kullanabiliriz. Bir su tankımız olduğunu ve ondan ışık geçirdiğimizi varsayalım ve ikinci polaroid parçasını ışığın ancak geçmesini sağlayacak kadar döndürdüğümüzü düşünelim. Sonra, ikinci saatimiz için, ışığın sola doğru dönmesi umuduyla, birinciye tekabül eden düzeni kuralım. Ama ışık sola dönmeyecektir, yine sağa dönecek ve sudan geçmeyecektir. Şekerli su kullanarak iki saati farklı yapabiliyoruz!

Bu çok ilginç bir sonuç, ilk bakışta, fizik yasalarının simetrik olmadığının kanıtı gibi görünüyor. Ancak, kullandığımız şeker, pancardan elde edilmiş olabilir. Şekerin oldukça basit bir yapısı olduğundan, çok aşamalı bazı işlemlerle laboratuvarda karbondioksit ve sudan da elde edilebilir. Kimyasal olarak her yönden aynı olan bu yapay şekeri denediğinizde ışığı döndürmediğini görürsünüz. Bakteriler şekeri yerler. Yapay şekerli suya bakteri koyarsanız şekerin ancak yansını yerler. Bakteriler yemeği bitirdikten sonra kalan sudan polarize ışık geçirdiğinizde ışığın *sola* döndüğünü görürsünüz. Bunun açıklaması şöyledir: Şeker bir grup atomun karmaşık bir düzeni ile oluşmuş karmaşık bir moleküldür. Sağ ile solu değiştirerek aynı düzeni kurduğunuzda bütün atom çiftleri arasındaki uzaklıklar her ikisinde de aynıdır; moleküllerin enerjileri de aynıdır; yaşam içermeyen bütün kimyasal olaylar bakımından da aynıdır. Ancak, yaşayan varlıklar bunların aralarında bir fark görüyor. Bakteriler bir türü yiyor, diğerini yemiyorlar. Pancardan yapılan şekerin hepsi aynı türden, hepsi sağ el kuralına uyan moleküller; bu nedenle de ışığı tek bir yöne çeviriyorlar. Bakteriler yalnız bu tür molekülleri yiyebilirler. Kendileri asimetrik olmayan maddelerden, basit gazlardan şeker ürettiğimizde her iki

türü eşit miktarda üretiriz. Bakterileri bu ortama koyduğumuz zaman yiyebilecekleri türü tüketirler; diğeri kalır. Işığın ters yöne dönmesinin nedeni budur. Pasteur'ün[21] keşfettiği gibi, kristallere bir büyüteçle bakarsak bu iki türü birbirinden ayırt etmek olanaklıdır. Bütün bunların akla uygun olduğunu kesinlikle gösterebiliriz. Eğer istersek, şekeri bakterileri beklemeden kendimiz de ayırabiliriz. Ancak ilginç olan bakterinin bunu *yapabilmesidir.* Bu, canlı süreçlerinin aynı yasalara tabi olmadıkları anlamına mı geliyor? Göründüğü kadarıyla, evet. Canlı varlıklarda birçok karmaşık molekülün varolduğu ve bunların hepsinde de sanki bir tür vida yivi bulunduğu görülüyor. Canlı varlıklardaki en küçük moleküller proteinlerdir. Bunlarda tirbüşon özelliği vardır ve sağa doğru dönerler. Şu kadarım söyleyebiliriz ki, aynı şeyleri kimyasal olarak yapabilirsek ve de sağa değil sola doğru yaparsak, biyolojik olarak işlemezler; çünkü, başka proteinlerle karşılaştıklarında uyum sağlayamazlar. Sol yönlü bir yiv sol yönlü bir yive uyar; fakat sol ve sağ birbirine uymaz. Kimyasal yapılarında sağ yönlü yivi olan bakteriler "sol ve sağ yönlü" şekeri ayırt edebilirler.

Bunu nasıl başarıyorlar? Fizik ve kimya iki tür molekülü de üretebilir; ancak, onları ayırt edemez. Ama biyoloji ayırt edebiliyor. Şöyle bir açıklama akla yakın görünüyor: Çok, çok eskiden, hayat daha yeni başladığında, rastlantı sonucu bir molekül ortaya çıktı ve üreyerek yayıldı, vs. Uzun yıllar boyunca bu tuhaf görünümlü, çatallı yumruları olan damlacıklar birbirleriyle *gevezelik* edip durdular... İşte bizler de başlangıçtaki bu birkaç molekülün evlatlarından başka bir şey değiliz. Bu ilk moleküllerin öyle değil de böyle bir şekil almaları tesadüf sonucunda oldu. Ya bu ya diğeri, ya sağ ya da sol olmak zorundaydılar. Sonra kendilerini çoğalttılar ve hâlâ da çoğalmaya devam ediyorlar. Bu, bir atölyedeki vidalara benzer. Sağ yönlü vidalar kullanarak sağ yönlü vidalar yaparsınız, vs. Bu gerçek, yani bütün canlı moleküllerde aynı tür yiv bulunması, moleküler düzeye kadar inen canlı soyunun hep aynı niteliği taşıma özelliğinin belki de en anlamlı ifadesidir.

Fizik yasalarının sağda ve solda hep aynı olup olmadıkları sorusunu daha iyi sınamak için konuyu şu şekilde ele alabiliriz: Mars'da veya başka bir gezegende yaşayan birisiyle telefon bağlantısı kurduğunuzu ve ona Dünya'daki nesneleri açıklamak istediğinizi varsayalım. İlk olarak, sözcüklerimizi nasıl anlayacak? Bu soru Cornell'deki Profesör Morrison[22] tarafından yoğun bir şekilde incelenmiştir. Önerdiği yöntem şudur: "Tik,

bir; tik-tik, iki; tik-tik-tik, üç; vb.” diyerek başlamak. Marsh kısa sürede sayıları anlayacaktır. Sayı sistemini anladıktan sonra sırayla atomların ağırlıklarını, orantılı ağırlıkları temsil eden bütün sayı dizilerini peşpeşe yazarsınız ve sonra da “hidrojen, 1.008”, ardından deteryum, helyum, vs. diye devam edersiniz. Oturup bu sayılara bir süre baktıktan sonra matematiksel oranların, elementlerin ağırlıklarının oranlarıyla aynı olduğunu fark ederek bu isimlerin, elemanların isimleri olduğunu anlayacaktır. Bu yöntemle yavaş yavaş ortak bir dil oluşturabilirsiniz. Şimdi şu problem ortaya çıkıyor; onunla yakınlaştıktan sonra size “Ahbaplar, Sizler çok iyisiniz. Nasıl göründüğünüzü de bilmek isterim,” dediğini varsayalım. Siz “yaklaşık altı foot boyundayız,” dediğinizde, “Altı foot mu? Bir foot ne büyüklüktedir?” diye sorar. Çok kolay: “Altı foot, on yedi bin milyon hidrojen atomu kadar uzundur.” Bu bir şaka değil. Örnek gönderemeyeceğimizi ve ikimizin de aynı nesneye bakamayacağımızı düşünürsek, hiçbir ölçeği olmayan birine altı foot’u anlatabilmenin bir yolu bu olabilir. Ona ne büyüklükte olduğumuzu anlatmak istiyorsak bunu yapabiliriz. Fizik yasaları ölçekten bağımsız olmadıklarından bu bilgiyi kullanarak ölçek belirleyebilir ve kendimizi tanımlamaya devam edebiliriz: Altı foot boyundayız ve dıştan iki-yanlıyız; şuna benzeriz, çatallı uzantılarımız var, vs. O da bize şöyle söyler: “Bunlar çok ilginç; ancak, içiniz neye benziyor?” Biz de ona kalbi vs. anlatırız ve “Şimdi kalbi sol tarafa koy,” deriz. Ancak, ona solun hangi taraf olduğunu nasıl anlatacağız? “Pancar şekerini al, suya at, onun döndüğü...” diyeceksiniz. Ama bunun da bir sakıncası var; oralarda pancar yok! Dahası, Mars’daki gelişim sırasında, buradaki proteinlerin aynıları ortaya çıkmış olsa bile onların ters yönlü sarmallar oluşturup oluşturmadığım bilme olanağımız yok; dolayısıyla anlatabileceğimiz bir yol da yok. Bir hayli düşündükten sonra bunu yapamayacağımızı farkeder, olanaksız olduğu sonucuna varırız.

Bununla beraber beş yıl kadar önce yapılan bazı deneyler ortaya bir sürü yeni bilmece çıkardı. Ayrıntılara girmeyeceğim. Kendimizi giderek artan güçlükler ve mantığa aykırı durumlarla karşı karşıya bulduk. Sonunda Lee ve Yang[23] sol ve sağ simetri ilkesinin -yani doğanın sol ve sağ için aynı olduğu ilkesinin- doğru olmayabileceğini ve bunun bazı bilinmeyenleri açıklamaya yardımcı olabileceğini ileri sürdüler. Bunu göstermek için de daha dolaysız bazı deneyler önerdiler. Yapılan deneyler arasında sadece en kestirme olanından söz edeceğim.

Bir elektron ve nötrinonun açığa çıktığı bir radyoaktif parçalanma ele alalım. Bu örnek, daha önce sözünü etmiş olduğum, bir nötronun bir proton, bir elektron ve bir karşı-nötrino verdiği parçalanmadır. Çekirdekteki yükün bir arttığı ve elektronun açığa çıktığı birçok radyoaktif olay vardır. Burada ilginç olan şudur: Elektronlar çıkarken kendi çevrelerinde dönerler. Bu dönmeyi ölçerseniz yönünün sola doğru (arkadan bakıldığında) olduğunu görürsünüz. Bunun belirli bir anlamı vardır: Dağılma sonucu ortaya çıkan elektron daima aynı yönde dönmektedir; yiv sol yönlüdür. Sanki beta-bozunması (decay), sırasında elektronları dışarı fırlatan silah bir yivli tüfektir. Bu silahta yiv iki türlü açılabilir. Bir "çıkış" yönü vardır; bu çıkıştan da sağa veya sola doğru döndürme seçeneğiniz vardır. Deneyler elektronların sol yönde yivlenmiş tüfekten atıldığım gösteriyor. Bu sonucu kullanarak Marslı'ya telefonu açıp "Dinle, radyoaktif bir madde, bir nötron al ve beta bozunması sonucu ortaya çıkan elektrona bak. Eğer elektron çıkarken yukarıya doğru gidiyorsa onun dönme yönünü sapta. Bu elektron sırtımızdan giriyor olsaydı dönme yönü sola doğru olurdu. Bu, solu tanımlar. Kalp de oradadır," deriz. Solu ve sağı bu şekilde ayırt etme olanağı vardır ve böylece de Dünya'nın sağ ve sol simetrik olduğu yolundaki yasa yıkılmış olur.

Şimdi de korunum yasaları ile simetri yasaları arasındaki ilişki üzerinde konuşmak istiyorum. Son derste korunum ilkelerinden; enerjinin, momentin, açısal momentin, vb. korunumundan söz ettik. Korunum yasaları ile simetri yasaları arasında çok derin bir bağlantı olması son derece ilginçtir. Hiç olmazsa bugün anladığımız şekliyle, bu bağlantının en iyi anlatımı yalnız kuantum mekaniğindedir. Şimdi size bunun bir örneğini göstereceğim.

Fizik yasalarının bir minimum ilkesi ile açıklanabilir olduklarını kabul edersek, o zaman eğer bir yasa bütün malzemeyi bir tarafa taşımanıza olanak veriyorsa, yani uzayda ötelenebiliyorsa, momentum korunumunun da varolması gerekir. Simetri ilkeleri ve korunum yasaları arasında sıkı bir bağ vardır; ancak, bu bağlantı minimum ilkesinin varolduğunun kabulünü gerektirir. İkinci dersimizde bir cismin verilen bir süre içinde bir yerden bir yere değişik yolları deneyerek gittiğini söyleyerek, fizik yasalarına ilişkin bir ifade şeklini tartışmıştık. Belki de yanlış anlamaya yol açabilecek olan bir sözcük kullanarak eylem (action) adını verdiğimiz bir nicelik tanımlıyoruz. Eylemi değişik yollar için hesapladığımızda, cismin seçtiği yol için bu niceliğin diğerlerinden her zaman daha küçük olduğunu görürüz.

Doğa yasalarının bu yolla ifadesi eylemin, olası bütün yollar içinde, cismin seçtiği yol için en küçük olduğunu söylemektedir. Bir şeyin en küçük olduğunu söylemenin başka bir yolu da, cismin izlediği yolun birazcık değiştirilmesinin bir fark yaratmadığını söylemektir. Tepelerde -ama düzgün şekilli tepelerde, çünkü matematiksel şeyler düzgün, pürüzsüz şeylere tekabül eder- yürüdüğünüzü ve en alçak yere geldiğinizi düşünelim. O zaman öne doğru ufak bir adım attığınızda yüksekliğin değişmeyeceğini söylerim. En yüksek ve en alçak noktada olduğunuzda attığınız bir adım, ilk yaklaştırımla (approximation) yüksekliğinizi etkilemeyecektir. Halbuki eğik bir yamaçta, bir adımla aşağı inersiniz veya ters yönde bir adımla da yukarıya çıkarsınız.



En aşağıda olduğunuz zaman bir adımın fark etmemesinin nedeninin anahtarı budur. Çünkü, eğer fark ederse, ters yönde bir adım atınca aşağı inersiniz. En aşağıda olduğunuz zaman bir adımın fark etmemesinin nedeninin anahtarı budur. Çünkü eğer fark ederse, ters yönde bir adım atınca aşağı inersiniz. En aşağıda olduğunuz ve daha aşağı gidemeyeceğiniz için ilk yaklaştırmanız, bir adımın fark yaratmaması olacaktır. Bu nedenle, cismin izlediği yolu biraz değiştirmenin, ilk yaklaştırıma göre, eylem bakımından bir fark yaratmadığını görüyoruz. A'dan B'ye bir yol çiziyoruz (Şekil 25). Şimdi izlenebilecek diğer bir yol olarak şunu alalım: Önce hemen yakınımızdaki C'ye sıçrıyoruz ve oradan ilk yola karşılık gelen bir yol izleyerek D diyebileceğimiz başka bir noktaya gidiyoruz. D noktası bu ikinci yol üzerinde olduğundan, aynı ölçüde yer değiştirmiştir. Şimdi şunu keşfetmiş oluyoruz: Doğa yasaları öyledir ki, ACDB yolu üzerindeki toplam eylem, ilk yaklaştırıma göre, minimum ilkesi uyarınca, gerçek hareket olan ilk AB yolundaki eylemin aynısıdır. Bir Şey daha söyleyeyim; A'dan B'ye birinci yol boyunca yapılan eylem, eğer her şeyi öteye geçirdiğimizde dünya değişmedi ise, C'den D'ye yapılan eylemin aynısıdır. Çünkü bu ikisi arasındaki fark yalnızca her şeyi ötelemiş olmamızdır. O halde, eğer uzayda ötelemeye ilişkin simetri ilkesi doğru ise A'dan B'ye ilk dolaysız yol boyunca yapılan eylem C ile D arasındaki dolaysız yoldaki eylemle aynıdır. Ancak, gerçek hareket için, dolaylı

ACDB boyunca yapılan eylem dolaysız AB boyunca yapılan eylemle, pek az farkla, hemen hemen aynıdır. Bu nedenle, doğrudan CD bölümü için de aynıdır. Bu dolaylı eylem üç ayrı bölümün toplamından oluşur: A'dan C'ye, C'den D'ye ve D'den B'ye. Eşit şeyler eşit şeylerden çıkarıldığında toplam sıfır olduğundan AC ile DB'nin toplamı da sıfır olmalıdır. Bu bölümlerin birindeki hareket bir yönde, diğerindeki de ters yöndedir. A'dan C'ye olanın katkısını bir yöne doğru hareket olarak, ve D'den B'ye olanı da, ters yönde olduğu için, B'den D'ye olanın ters işaretlisi olarak düşünürsek, A'dan C'ye olan sayı B'den D'ye olanı götürecek ölçüde olmalıdır. B'den D'ye doğru ufacık bir adımın eylem üzerindeki etkisi budur. Bu nicelik, yani sağa doğru ufak bir adımın eylem üzerindeki etkisi, başlangıçta (A'dan C'ye) ve sonda (B'den D'ye) olan ile aynıdır. Öyleyse, eğer minimum ilkesi geçerli ise ve uzayda ötelemenin simetri ilkesi doğru ise, zamanla değişmeyen bir nicelik var demektir. Bu değişmeyen nicelik (yana doğru küçük bir adımın eylem üzerindeki etkisi) son derste incelediğimiz momentumun ta kendisidir. Yasaların minimum eylem ilkesine tabi olduklarını kabul ediyorsak, bu bize simetri yasaları ile korunum yasaları arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Yasaların, kuantum mekaniğinden kaynaklandıkları için, minimum eylem ilkesini sağladıkları sonucu ortaya çıkıyor. Simetri yasaları ile korunum yasaları arasındaki ilişkinin açıklanmasının kuantum mekaniğinde yapıldığını size daha önce bu nedenle söylemiştim.

Bu tartışmanın zaman ertelemesi için yapılacak bir benzeri, enerjinin korunumunu gündeme getirir. Uzayda rotasyonun fark etmemesi de açısal momentumun korunumu sonucuna yol açar. Yansımanın fark etmemesi ise klasik anlamda basit bir şeye yol açmaz. Bu şeye parite denildi ve paritenin korunumu denilen bir korunum yasası ortaya atıldı. Ancak bunlar karmaşık sözcüklerden başka bir şey değildir. Paritenin korunumundan bir nedenle söz etmem gerekiyor; paritenin korunumu yasasının yanlış olduğunun anlaşıldığını gazetelerde okumuş olabilirsiniz. Eğer bu, sağ ve solun ayırt edilemeyeceği ilkesinin yanlış olduğunun kanıtlanması şeklinde yazılsaydı daha kolay anlaşılırdı.

Sırası gelmişken, simetriler konusunda ortaya çıkan bazı yeni problemlerden söz etmek istiyorum. Örneğin, her parçacık için bir karşı-parçacık vardır; elektron için bu pozitrondur, proton için de karşı-proton. İlke olarak, karşı-madde dediğimiz şeyi yapabiliriz. Karşı-maddedeki her atom, maddede olan atomların karşı-parçacıklarından oluşur. Hidrojen atomu bir elektron ve bir protondur. Elektrik yükü negatif olan bir karşı-

proton ile bir pozitronu birleştirirsek bir tür hidrojen atomu, karşı-hidrojen oluşur.

Karşı-hidrojen atomları gerçekte ‘yapılmış’ değil; ancak, ilke olarak yapılabilecekleri, aynı şekilde her türden karşı-maddenin yapılabileceği düşünülüyor. Peki acaba karşı-madde de madde gibi mi davranır? Bildiğimiz kadarıyla, evet. Simetri yasalarından biri de, karşı-madde ile yaptığımız bir şeyin madde ile yapılan aynı şeyle aynı yolda davranacağı şeklindedir. Ancak, bunlar bir araya gelirlerse kıvılcımlar çıkararak birbirlerini yok ederler.

Madde ve karşı-maddenin aynı yasalara tabi oldukları düşünülmüştür. Ancak şimdi sağ ve sol simetrinin yanlış olabileceğini biliyoruz. Bu durumda ortaya önemli bir soru çıkıyor. Nötron parçalanmasım bir karşı-madde için -bir karşı-nötron; bir karşı-proton, bir karşı-elektron (pozitron) ve bir nötrinoya ayrışır- ele alalım. Soru şudur: O da aynı şekilde mi davranacak, yani pozitron sol yönlü bir sarmalla mı ortaya çıkacak; yoksa öbür türlü mü davranacaktır? Birkaç ay öncesine kadar ters yönde davranacağına; madde sola giderken karşı-maddenin (pozitron) sağa doğru gideceğine inanıyorduk. Bu durumda Marslı’ya neyin sağ, neyin sol olduğunu anlatma olanağımız yoktu; çünkü eğer kendisi karşı-madde ile yapılmışsa, Marslı deneyi yaparken, onun elektronları pozitron olacağından, onlar da ters yönde dönecekleri için, kalbi ters tarafa koyacaktı. Marslı’ya telefon edip ona bir insanın nasıl yapıldığım anlattığınızı varsayalım. O da dediklerinizi yapıyor ve başarılı oluyor. Daha sonra ona bizim bütün sosyal adetlerimizi açıklıyorsunuz. O da bize yeterince iyi bir uzay gemisinin nasıl yapılacağını açıklıyor. Sonunda onu görmeye gidiyorsunuz. Ona doğru yürüyüp, tokalaşmak için sağ elinizi uzatıyorsunuz. O da sağ elini uzatırsa tamam, her şey yolunda. Ama eğer sol elini uzatırsa, dikkat edin... birbirinizi yok edeceksiniz!

Size başka simetri örneklerinden de söz etmek isterdim; ama açıklamalar gittikçe zorlaşıyor. Yaklaşık simetri dediğimiz çok ilginç şeyler var. Örneğin, sağ ve solu ayırt edebilmemizin dikkate değer yönü şudur: Onu yalnızca çok zayıf bir etki ile, şu beta parçalanmasıyla gerçekleştirebiliyoruz. Bu da, doğada sağ ile solun, yüzde 99.99 olasılıkla, birbirinden ayırt edilemeyeceği demek oluyor; ancak bu aynı zamanda tamamen farklı, tepetaklak, küçücük bir şeyin küçücük bir olgunun

varolduğu anlamına geliyor. Bu, henüz hiç kimsenin en ufak bir fikir yürütemediği akıl ermez bir sırdır.

Geçmiş ile Geleceği Ayırt Etme

Dünya'daki olguların tersine çevrilemeyecekleri herkesçe çok iyi bilinir. Yani bir şeyler olur ve bunlar bir daha ters yönde gelişmezler. Bir fincanı yere düşürdüğünüzde fincan kırılır; parçaların tekrar bir araya gelip elinize sıçramasını beklerseniz, boşuna beklersiniz. Denizin dalgalarının kırılmasını seyrederken köpüklerin yeniden bir araya geleceği, denizden yükselip kıyıdan daha ötelere doğru çekilip tekrar yükseleceği o büyük an'ı da uzun süre beklersiniz -ne güzel olurdu!

Derslerde bu konunun sunulması, genellikle bazı olayları içeren bir sinema filmini alıp geriye doğru oynatarak kahkahaları beklemek şeklinde yapılır. Bu kahkahalar, gerçek dünyada böyle şeylerin olamayacağı anlamına gelmektedir. Ancak bu, geçmiş ile gelecek arasındaki fark gibi derin ve aşikar bir şeyi açıklamanın en iyi yolu değildir. Çünkü, herhangi bir deney yapmasak da, içimizde birikmiş olan deneyimler geçmiş ile geleceğin birbirinden tamamen farklı olduğunu göstermektedir. Geleceği değil, geçmişi anımsarız. Ne olmuş olabilir konusundaki bilinç, ne olabilir konusundaki bilinçten çok farklıdır. Psikolojik açıdan, özgür irade ve bellek kavramlarını içerdiği için gelecek ile geçmiş birbirinden farklıdır: Geleceği etkileyecek bir şeyler yapabileceğimizi hissederiz; ancak hiçbirimiz geçmişi etkileyecek bir şey yapabileceğimizi düşünmeyiz; veya pek azımız düşünür. Pişmanlık, vicdan azabı, umut, vb. sözcükler geçmiş ve geleceği en belirgin şekilde ayırt ederler.

Doğa alemi atomlardan oluşuyorsa, biz de atomlardan oluşmuş ve doğa yasalarına tabi isek, geçmiş ile gelecek arasındaki görünür farkın ve olayların geri döndürülemeyeceği olgusunun en belirgin açıklaması şöyle olabilir: Bazı yasalar, örneğin atomların hareketleri hakkındaki bazı yasalar, tek bir yönde işler; atom yasaları iki yönde işlemezler. Bir yerlerde

“uxley”lerin yalnız “wuxley”lere dönüştüğünü ve tersinin olamayacağını söyleyen bir ilke olsa gerek. Böylece Dünya hep uxley’lerden wuxley’lere dönüşmektedir; ve nesneler arasındaki bu tek yönlü etkileşim Dünya'nın hep bir yönde gitmesine neden olmaktadır.

Ancak bu ilkeyi henüz keşfetmiş ve dolayısıyla bugüne kadar keşfettiğimiz bütün fizik yasalarında geçmiş ve gelecek bakımından bir ayırım saptamış değiliz. Bu açıdan film her iki yönde de aynı şekilde çalışabilmeli; ona bakan fizikçi de gülmemelidir.

Her zamanki örneğimiz olan yerçekimi yasasını ele alalım. Bir güneş ve bir gezegenim olsun. Gezegeni güneş çevresinde bir yönde harekete geçirdiğimi ve onun bir filmini çektiğimi, sonra da filmi geriye doğru çalıştırarak baktığımı varsayalım. Ne olur? Gezegen güneş çevresinde, kuşkusuz ters yönde, bir elips üzerinde hareket eder. Gezegenin hızı, eşit zaman aralıklarında, yapıçapın taradığı alanın eşit olmasını sağlayacak şekildedir. Yani gerçekten, hareket etmesi gerektiği gibi hareket etmektedir. Ters yönde gittiği durumdan hiçbir farkı yoktur. Buna göre çekim yasası, yönün bir fark yaratmadığı türden bir yasadır. Eğer yerçekimi içeren bir olayın filmini yalnız ters yönde oynatırsanız her şey yolunda gibi görünecektir. Bunu daha kesin olarak şöyle ifade edebilirsiniz: Karmaşık bir sistemdeki bütün parçacıkların hızları aniden ters yöne çevrilirse o zaman sistem, oluşturmuş olduğu şeylerden geriye doğru çözülür. Eğer bir şeyler yapan bir sürü parçacığınız varsa ve hızı birdenbire ters çevirirseniz daha önce yaptıklarını tekrar eski hallerine getireceklerdir.

Bu, hızın kuvvet etkisiyle değişeceğini söyleyen çekim yasasıdır. Zamanı ters çevirirsem kuvvetler değişmez ve sonuç olarak da hızdaki değişimler etkilenmez. Öyleyse her hız, daha önce onu oluşturan aşamalarını tam tersine olan bir şekilde, art arda gelen değişimlere uğrayacaktır. Çekim yasasının zaman bakımından ters-çevrilebilir olduğunu kanıtlamak kolaydır.

Elektrik ve manyetizma yasaları için ne söyleyebiliriz? Bunlar zamana göre ters çevrilebilirler. Ya nükleer etkileşim yasaları? Bildiğimiz kadarıyla onlar da zamana göre ters çevrilebilirler. Daha önce sözünü ettiğimiz beta-bozunması yasadan? Onlar da zamana göre ters çevrilebilirler mi? Birkaç ay önce yapılan deneyler bir şeylerin yolunda olmadığını, yasalarda anlaşılmayan bir şeyler olduğunu; beta-bozunmasının zamana göre ters-çevrilebilir olmayabileceğini düşündürmektedir. Anlamak için yeni deneyler yapılmasını beklemek gerekiyor. Ancak, hiç olmazsa şunun doğru

olduğunu söyleyebiliriz: beta-bozunması (zamana göre ters-çevrilebilir olsun veya olmasın) normal durumların çoğu için çok önemsiz bir olgudur. Benim burada konuşabilmem her ne kadar kimyasal etkileşimlere ve elektriksel kuvvetlere bağımlı ise de, beta-bozunmasından bağımsızdır; şimdilik nükleer kuvvetlerden de oldukça bağımsız olmakla beraber, yerçekimine bağımlıdır. Ancak ben "tek-yönlüyüm"; konuştuğumda havaya doğru bir ses yayılıyor, ama ağzımı açtığımda o ses geri dönüp ağzımdan içeriye girmiyor. Bu ters-çevrilememe de beta-bozunmasına yüklenemez. Başka bir deyişle, atom hareketleri sonucu dünyada oluşan normal olayların çoğununun tamamen ters-çevrilebilir yasalara tabi olduklarını sanıyoruz. Bu nedenle ters-çevrilememe olgusuna bir açıklama bulmak için daha fazla araştırma yapmamız gerekiyor.

Güneş çevresinde dönen gezegenlere daha dikkatli baktığımızda her şeyin yolunda gitmediğini kısa sürede fark ederiz. Örneğin, Dünya'nın ekseni etrafındaki hareketi, giderek yavaşlamaktadır. Bunun nedeni gel-git sürtünmesidir ve sürtünmenin ters-çevrilebilir olmadığı ortadadır. Ağır bir cismi yere koyup itersem kayar ve durur. Durup beklersem, birden hareketlenip hızını artırarak tekrar elime dönmez. Böylece, sürtünme kuvveti ters-çevrilmez gibi görünüyor. Ancak, daha önce açıkladığımız gibi bir sürtünme kuvveti, ağırlık ile tahta arasındaki etkileşim ve içerideki atomların titreşimi sonucu ortaya çıkan çok karmaşık bir şeydir. Cismin düzenli hareketi, tahtadaki atomların başıbozuk düzensiz hareketlerine dönüşmüştür. Bunu daha yakından incelememiz gerekiyor.

Burada ters-çevrilememe olgusuna ışık tutacak bir ipucumuz var. Basit bir örnek ele alacağım. Bölmeli bir su tankının bir tarafına mavi boyalı su, diğer tarafına boyasız su koyalım; sonra bölmeyi çok yavaşça kaldıralım. Başlangıçta sular ayrıdır. Biraz bekleyelim. Yavaş yavaş mavi su, renksiz suyla karışır ve bir süre sonra boya düzgün bir şekilde karışarak su "mavimsi" olur. Yani mavi tank içinde yarı yarıya, yeknesak olarak yayılır. Daha sonra uzun süre bekleyip gözlesek de kendiliğinden tekrar ayrılmaz (Maviyi ayırmak için siz bir şey *yapabilirsiniz.* Suyu buharlaştırıp başka bir yerde yoğunlaştırırsınız. Mavi boyayı bu suyun yarısıyla karıştırıp yerine koyabilirsiniz. Ama bütün bunları yaparken, siz başka bir yerde geri-çevrilemez olan bir olguya neden olursunuz). Ancak, mavi su, kendi başına öbür yöne gitmez.

Bu bize bir ipucu veriyor. Moleküllere bir bakalım. Mavi ve beyaz suların karışımını filme aldığımızı düşünelim. Filmi ters yönde gösterdiğimizde oldukça tuhaf bir görüntüyle karşılaşıyoruz. Çünkü tek renkli suyla başlamışken yavaş yavaş renkler ayrışıyor. Şimdi de resmi, fizikçilerin atomları tek tek gözleyerek geri çevrilemeyen şeyin ne olduğunu (ileri ve geri denge yasalarının nerede aksadığını) görebilecekleri kadar büyütelim ve yeniden bakalım, iki çeşit atom göreceksiniz (çok saçma ama onlara mavi ve beyaz diyeceğiz) ve bu atomlar termal hareketlerle durmadan titreşip duruyorlar. Tekrar baştan alırsak, çoğunlukla bir türden atomlar bir tarafta, öbür türden olanlar öteki tarafta olacaktır. Milyarlarca milyarlarca atomun, bir türü bir yanda, öbür türü diğer yanda, titreşerek, bu düzensiz ve hiç durmayan hareketler sonunda birbirine karıştıklarını görürüz. Suyun hemen hemen düzgün mavi bir renk olması da bu nedenledir.

Bu filmden seçeceğimiz tek bir çarpışmayı gözleyelim. Filmde atomlar şu yönde bir araya gelip bu yönde sıçrıyorlar. Şimdi filmin bu bölümünü tersine oynatırsak molekül çiftinin bu yönde yaklaşıp şu yönde zıpladıklarını görürüz. Fizikçi dikkatle bakıp her şeyi ölçer ve şöyle der: “Tamam, fizik yasalarıyla uyum içinde, iki molekül bu şekilde çarpıştıklarında bu şekilde zıplarlar.” Bu iki yönlüdür. Moleküllerin çarpışma yasaları ters-çevrilebilir özelliktedir.

Demek oluyor ki çok dikkatle bakarsanız hiçbir şey anlayamazsınız; çünkü çarpışmaların her biri kesin olarak tersine çevrilebilir türdendir. Ancak, filmin bütününde görülen şey de tuhaftır. Çünkü film ters gösterildiğinde moleküller karışmış bir şekilde -mavi, beyaz, mavi, beyaz, mavi, beyaz- başlar; çarpışmalar boyunca mavi, beyazlardan ayrılır. Ancak, bunu yapamazlar; gerçek yaşamdaki olgularda mavilerin kendilerini beyazlardan ayırmaları doğal değildir. Yine de, tersine oynatılan filme dikkatle baktığınızda, her çarpışmanın ters-çevrilebilir olduğunu görürsünüz.

Bütün bunlardan, ters-çevrilebilme özelliğinin yaşamın rastlantılarından kaynaklandığım görüyorsunuz. Ayrılmış bir şeyle başlayıp buna düzensiz değişimler uyguladığınızda bu şey daha yeknesak bir duruma geliyor; ama yeknesaklıkla başlayıp düzensiz değişimler uyguladığınızda ayrışmıyor. *Ayrışabilirdi de.* Moleküllerin ayrışacak şekilde sıçramaları fizik yasalarına ters düşmez; yalnızca pek olası değildir. Bu, bir milyon yılda bile

gerçekleşmez, işte yanıt budur. Olaylar, yalnızca bir yönde olası ama öbür yönde olanaklı ve fizik yasalarıyla uyumlu oldukları halde bir milyon yılda bile gerçekleşemeyecekleri anlamında, ters-çevrilemezdir. Bir yerde uzun süre oturup yeknesak bir su ve boya karışımında atom titreşimlerinin boyayı bir yana, suyu öbür yana ayırmasını beklemek sadece gülünç olur.

Eğer bu deneyi, içinde her iki tür molekülden dört veya beş tane olacak şekilde bir kutu ile yaparsam moleküller zamanla karışırlar. Sanıyorum ki, bakmayı sürdürürseniz, bir süre sonra -bir milyon yıl olması gerekmez, belki yalnız bir yıl sonra- moleküllerin, hiç durmayan düzensiz çarpışmalar sonucu, rastlantısal olarak hemen hemen ilk durumlarına, yani araya bir bölme koyarsam bütün maviler bir tarafta bütün beyazlar da öbür tarafta olacak şekilde, ilk durumlarına gelmelerini bekleyebilirsiniz. Bu olanaksız değildir. Ancak, deneylerde kullandığımız gerçek nesneler dört veya beş mavi ve beyaz molekülden oluşmuyor. Dört veya beş milyon milyon milyon milyon molekül var ve bunların hepsinin bu şekilde ayrılmaları gerekiyor. Böylece, doğanın görünürdeki ters-çevrilemezliği temel fizik yasalarının ters-çevrilemezliğinden kaynaklanmıyor. Neden şudur: Düzenli bir sistemle başlarsanız, doğanın düzensizlikleri, yani moleküllerin sıçramaları sonucu olaylar bir yönde gelişir.

Bu nedenle de bir sonraki sorumuz, başlangıçta nasıl düzenli oldukları sorusudur. Yani, “düzenli” ile başlamak nasıl olanaklı oluyor? Buradaki güçlük düzenli bir şeyle başlayıp düzenli bir şeyle bitirmeyişinizdedir. Dünyanın kurallarından biri de nesnelerin düzenli koşullardan düzensiz koşullara gitmesidir. Sırası gelmişken belirteyim ki, düzenli' ve 'düzensiz' sözcükleri normal yaşamdaki anlamlarında kullanılmayan fiziksel terimlerdir. Düzen, Sizler için ilginç olmayabilir. Ancak, burada belirli bir durum söz konusudur; her şey bir yanda ve her şey öbür yandadır veya birbirine karışmışlardır; işte düzen ve düzensizlik budur.

Öyleyse sonunuz şu: Başlangıçta nasıl düzenli oldular; ve kısmen düzenli olan herhangi bir duruma baktığımızda neden onun daha düzenli olan bir şeyden gelmiş olabileceği sonucuna varıyoruz? Bir tarafta koyu mavi, öbür tarafta duru beyaz, ortada da mavimsi renkte su olan bir su tankına bakarsam ve yirmi veya otuz dakika için ona hiç dokunulmadığını bilirsem, onun bu durumda olmasının nedeninin geçmişte tamamen ayrılmış olmasından kaynaklandığını tahmin ederim. Daha uzun bir süre beklersem mavi ve beyaz birbirine daha çok karışacaktır; bu şeye yeterince uzun bir

süre dokunulmamış olduğunu bilirsem de onun geçmişteki durumu hakkında bir şeyler çıkarabilirim. Yanlarda “düzgün” olması, ancak onun geçmişte daha iyi bir şekilde ayrılmış olmasının sonucu olabilir; çünkü geçmişte daha iyi ayrılmış olmasaydı o zamandan bu yana, şimdi olduğundan çok daha karışmış olurdu. Bu nedenle, şu an’a bakarak, geçmiş hakkında bir şeyler söyleyebiliriz.

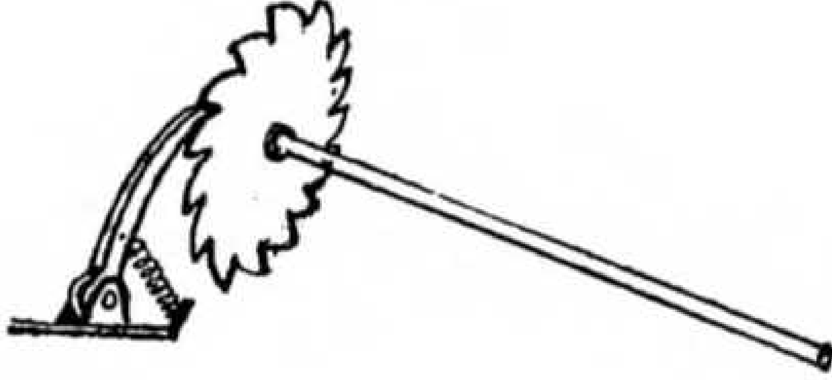
Gerçekte fizikçiler bu kadar ileri gitmezler. Fizikçiler yapılması gerekenin yalnızca “koşullar işte böyle; şimdi ne olacak?” demek olduğunu söylemek eğilimindedirler. Bütün diğer kardeş bilimlerde farklı bir problem vardır. Gerçekte diğer bütün inceleme alanlarında -tarih, jeoloji, astronomi tarih- farklı tür bir problem söz konusudur ve bu alanlarla uğraşanlar fizikçilerden çok farklı tür tahminlerde bulunabilmektedirler. Bir fizikçi “bu koşullar altında daha sonra ne olacağını söyleyeyim,” derken jeolog “yeri kazdığımda bazı kemikler buldum. Eğer siz de yeri kazarsanız aynı türden kemikler bulacağınızı tahmin ediyorum,” şeklinde bir şeyler söyler. Tarihçi de, geçmiş hakkında konuştuğu halde, bunu, gelecek hakkında konuşarak yapar. Fransız Devrimi’nin 1789’da yapıldığını söylediğinde kast ettiği, Fransız Devrimi konusunda bir başka kitaba baktığınızda aynı tarihi göreceğinizdir. Yaptığı, daha önce hiç görmediği, henüz ele geçmemiş olan belgeler hakkında tahmin yürütmektir. Napoleon hakkında bir şeylerin yazılmış olduğu belgelerin başka belgelerde yazılmış olanlarla aynı olacağını ileri sürer. Bu nasıl mümkün olur? Bunu mümkün kılan tek şey Dünya'nın geçmişinin şimdiki durumundan, bu anlamda, daha düzenli olduğunu varsaymaktır. Bazı kişiler Dünya'nın aşağıda açıklayacağım şekilde düzene girdiğini öne sürdüler. Başlangıçta bütün evren, renkli suda olduğu gibi, tümüyle düzensiz hareketlerden ibaretti. Çok az atom olduğunda, uzun süre beklersek suyun rastlantısal olarak ayrılabileceğini söyledim. Bazı fizikçiler (bir yüzyıl önce) bütün olan bitenin, dünyanın yani uzun zamandır süregelen bir sistemin düzensiz dalgalanmalar (fluctuation - normal düzenli durumdan biraz sapıldığını belirten bir terim) yapmasından ibaret olduğunu ileri sürdüler. Dalgalanmalar oldu ve biz şimdi bu dalgalanmaların kendi kendilerini çözüp eski hale dönülme sürecini gözlüyoruz. “Ama böyle bir dalgalanma için ne kadar beklemek gerektiğini bir düşünün,” diyebilirsiniz. Biliyorum, ama dalgalanma, evrimi gerçekleştirecek, akıllı bir insan yaratacak ölçüde olmasaydı onu fark etmezdik. Bu nedenle, onu fark edebilecek olan bizler varoluncaya kadar beklenmesini gerektiren, en az bu ölçüde büyük bir dalgalanma olması

gerekti. Yine de, bu teorinin yanlış olduğunu sanıyor ve şu nedenle de onu saçma buluyorum. Dünya çok daha büyük ve her yerde karmaşık bir durumda atomlar olsaydı; ben sadece bir yerdeki atomlara bakıp onların ayrılmış olduğunu gördüğümde, başka herhangi bir yerdeki atomların da ayrılmış oldukları sonucuna varmazdım. Eğer bu bir dalgalanma idiyse ve ben sıradışı bir şey görmüşsem onun orada olmasının nedeni, büyük olasılıkla, başka hiçbir yerde sıradışı bir şey olmamasıdır. Beyaz ve mavi sularla yapılan deneyde, kutudaki moleküllerin birkaçı ayrıldığında geri kalan su için en olası durum, renklerin hâlâ karışık olmasıdır. Aynı şekilde, yıldızlara ve dünyaya baktığımızda her şeyi düzen içinde görüyoruz; eğer dalgalanma olsaydı daha önce bakmadığımız bir yere baktığımızda karmaşa ve düzensizlik görmeyi beklerdik. Maddenin sıcak olan yıldızlarla soğuk olan uzaya ayrılmış olduğunu görmüştük. Bu, dalgalanma sonucu olabilir. Ancak o zaman, bakmadığımız yerlerde yıldızların uzaydan ayrılmış olmayacağını tahmin edebiliriz. Halbuki, Napoleon hakkındaki ifadeyi bulacağımızı, veya daha önce gördüğümüz kemiklere benzer kemikler göreceğimizi önceden tahmin edebildiğimiz gibi, bakmadığımız bir yerde de her zaman bildiğimiz yıldızlara benzer durumda yıldızlar bulunacağını düşünürüz. Bütün bilimlerde elde edilen başarılar Dünya'nın dalgalanmadan değil, geçmişte daha düzenli ve ayrılmış olan bir durumdan bugüne geldiğine işaret ediyor. Bu nedenle evrenin, teknik anlamda geçmişte bugünkünden daha düzenli olduğu hipotezini fizik yasalarına eklemek gerektiğini düşünüyorum. Ters-çevrilemezliğin bir anlamı olması ve anlaşılması için eklememiz gereken, kanımca bu ifadedir.

İfadenin kendisi zaman bakımından tepetaklak; geçmiş hakkındaki bir şeyin gelecektekinden farklı olduğunu söylüyor. Ancak, bu normal olarak fizik yasalarının alanı dışındadır. Çünkü, artık evrenin gelişme kurallarım düzenleyen fizik yasalarının ifadelerini, Dünya'nın geçmişte ne durumda olduğunu ifade eden yasalardan ayırmaya çalışıyoruz. Şimdilerde bu, astronomi tarihi olarak kabul ediliyor; belki gelecekte bir gün o da fizik yasalarının bir parçası olur.

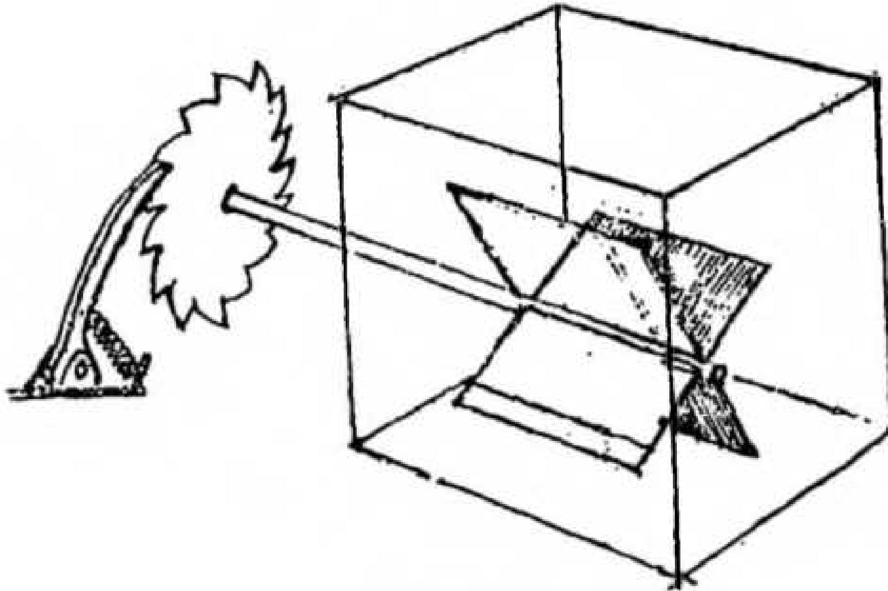
Şimdi de size ters-çevrilmezliğin bazı ilginç özelliklerini göstermek istiyorum. Bunlardan birisi, ters-çevrilemeyen bir makinenin nasıl çalıştığını izlemekle görülebilir. Yalnızca bir yönde çalışması gereken bir makine yaptığımızı düşünelim. Üzerinde çepeçevre yukarıya doğru dik ve aşağıya doğru eğik dişler bulunan, dairesel testere şeklinde bir çark yapıyorum. Çark bir mile geçirilmiştir. Bir de, çarkın geri dönmesini

önleyebilecek olan ve bir yay ile bir mafsala tutturulmuş bir çubuk (kastanyola) var (Şekil 26). Çark yalnız bir yönde dönebilir.



Şekil 26

Diğer tarafa döndürmeye çalışırsanız kastanyola dişlerin dik olan taraflarını tutar ve dönmez; doğru yönde döndürdüğünüzde ise dişlerin üstünden "çıt çıt" sesleri çıkararak geçer (Bu tür şeyleri saatlerde görmüşsünüzdür; kol saatlerinde de böyle bir şey vardır. Tek yönde kurarsınız; kurduktan sonra kastanyola zembereği tutar). Yalnız bir yönde dönebileceği anlamında çark tamamen ters-çevrilmezdir. Ters çevrilemeyen böyle bir makinenin, tek yönde dönebilen çarkın, çok ilginç bir şey için kullanılabileceği düşünüldü.



Şekil 27

Moleküllerin sürekli olarak düzensiz hareket içinde olduğunu biliyoruz. Eğer çok hassas bir alet yaparsanız, çevredeki hava moleküllerinin sürekli düzensiz bombardımanına maruz kalacağı için, alet devamlı olarak titreşim yapacaktır. Şimdi çarkımızı, üzerindeki mil yardımıyla, dört kanatlı bir pervaneye, Şekil 27'de görüldüğü gibi bağlayalım.

Kanatlar, içinde gaz bulunan bir kutuya konuluyor ve moleküller tarafından düzensiz olarak sürekli bombardıman ediliyor; kanatlar bazen bir yöne, bazen de öbür yöne itiliyor. Bir yönde itildiklerinde kastanyola tarafından tutuluyor, öbür yana doğru itildiklerinde ise dönüyorlar. Böylece çark da durmadan dönüyor ve bir tür sürekli hareket elde etmiş oluyoruz. Buna olanak veren şey dişlinin ters-çevrilmez oluşudur.

Bu olan bitenleri daha ayrıntılı olarak gözlememiz gerekiyor. Cihaz, çarkın bir yönde dönerken kastanyolayı kaldırması, sonra da kastanyolanın düşüp dişi kilitlemesi şeklinde çalışıyor. Kastanyola kalkıp iner; yay düzgün çalışırsa sürekli olarak kalkıp iner, ve kastanyola bir şekilde yukarı çıkarsa çark da aksi yönde döner. Kastanyola aşağı düştüğünde kilitlenmezse, ya da kalkıp inmezse, mekanizma çalışmaz. Tek yönde dönmeyi sağlayan yegane şey olan kalkıp-inme hareketi sırasında sürtünme veya yavaşlama (damping -osilasyonda giderek azalma) meydana gelir; sürtünme nedeniyle ısınma olur ve çark gittikçe daha sıcak hale gelir, iyice ısınmaya başlayınca başka bir olay ortaya çıkar. Yapıldıkları madde ne olursa olsun, çark ve kastanyola ısındıkça, kanatların çevresindeki gazın düzensiz hareketlerine, yani Brown hareketlerine[24] benzer şekilde, çarkta da düzensiz hareketler başlar. Zamanla çark o kadar ısınır ki içindeki molekül hareketleri nedeniyle, kastanyola titreşmeye başlar; moleküler hareket yüzünden yukarı aşağı zıplar (kanatların dönmesini sağlayan etkinin aynısı). Kastanyola çark üzerinde yukarı aşağı zıplarken yukarıda olduğu kadar da aşağıda kalır. Bu arada diş iki yana da gidebilir. Artık cihazımız tek-yönlü değildir; geriye doğru da çalışabilir! Çark sıcak, kanat parçası da soğuk olursa, sadece tek yöne hareket edeceğini sandığımız çark öteki yöne doğru hareket eder. Çünkü kastanyola her aşağı indiğinde çark üzerindeki dişlerin eğik yüzüne düşer, böylece de çarkı "geriye" doğru iter. Sonra yine yükselir ve başka bir dişin eğik yüzüne düşer, vb. Demek oluyor ki, eğer çark kanatlardan daha sıcak olursa ters yönde hareket eder.

Bütün bunların, kanatlar çevresindeki gazın ısısı ile nasıl bir ilişkisi var? O parçanın hiç varolmadığını varsayalım. Eğer kastanyolanın dişin eğik

yüzeyi üzerine düşmesiyle çark ileriye doğru itiliyorsa, dişin dik yüzü kastanyolaya çarpacak, çark da geriye doğru atlayacaktır. Çarkın geriye atlamasını önlemek için üzerine bir yavaşlatıcı koyar, kanatlara da hava göndeririz; böylece çark yavaşlayacak ve serbestçe sıçramayacaktır. Artık sadece bir yöne gidecektir; ama ters yöne. Böyle bir çark, eğer bir bölümü diğerinden daha sıcaksa bir yöne, diğer yönü daha sıcaksa da ters yöne doğru dönecektir. Ama iki taraf arasında bir ısı değişimi olursa, yani ortalık yatışıp hem kanatlardaki hem de çarktaki ısı birbirinin aynı olursa, ne o yana ne bu yana gider. Arada denklik olmadığı, yani bir taraf öteki taraftan daha az hareketli, bir taraf ötekinden daha mavi olduğu sürece, doğa olgusunun tek yönde hareket etmesinin teknik açıklaması böyledir.

Enerji korunumu bize istediğimiz kadar enerjiye sahip olduğumuzu düşündürebilir. Doğa hiçbir zaman enerji kaybetmez veya kazanmaz. Ancak, örneğin denizdeki enerji, denizdeki atomların ısı hareketlerinin yol açtığı termal enerji, bizler için pratikte yok sayılabilir. Bu enerjiyi düzenlemek, yön vermek ve kullanılabilir duruma getirmek için bir sıcaklık farkı olması gerekir. Yoksa enerji orada olduğu halde ondan yararlananlayız. Enerji ile enerjinin kullanılabilir olması arasında büyük bir fark vardır. Denizde çok büyük enerji vardır; ancak, bizim için kullanılabilir değildir.

Enerjinin korunumu dünyadaki toplam enerjinin değişmediği anlamına gelir. Düzensiz titreşimler sonucu yayılan enerji o denli düzgün olabilir ki bazı durumlarda, bir yöne diğerinden daha fazlasını iletmek, onu kontrol etmek olanağı bulunmaz.

Bir benzetme yaparak size bu konudaki güçlükler hakkında bir fikir verebileceğimi sanıyorum. Plajda, havlularınız yanınızda otururken ani ve şiddetli bir sağanağa yakalandığınız bilmem hiç oldu mu? Bana oldu. Havluları çabucak toparlayıp plaj kabinine koşar, sonra da kurulanmaya başlarsınız. Havlu biraz ıslanmıştır; ancak, yine de sizden daha kurudur. Havlu iyice ıslanıncaya, artık sizi kuruladığı kadar ıslattığını da fark edinceye kadar, onunla kurulanırsınız. Sonra bir başkasını alırsınız ama çok geçmeden bütün havluların sizin kadar ıslak olduğunun farkına varırsınız. Bir sürü havlunuz olduğu halde daha kuru olmanıza olanak yoktur; çünkü, sizin ıslaklığınızla havluların ıslaklığı arasında bir anlamda fark yoktur. Şimdi “su verme kolaylığı” adı altında bir nicelik icat edebilirim. Havlu da sizin kadar su verme kolaylığına sahiptir. Bu nedenle de, kendinize bir

havlu dokundurduğunuzda sizden havluya geçen su kadar su da havludan size geçecektir. Bu, havluda sizde olan miktarda su olduğu anlamına gelmez. Büyük bir havluda küçük bir havluda olandan daha çok su vardır; ancak, ıslaklıkları aynıdır. Nesnelerin ıslaklığı eşitlenince artık yapabileceğiniz bir şey yoktur.

Su da enerjiye benzer; çünkü, toplam su miktarı değişmez (Eğer plaj kabininin kapısı açıksa dışarıya, güneşe koşarak kuruyabilir, veya başka bir havlu bulur kurtulursunuz. Ancak, her yerin kapalı olduğunu, yeni havlu alamayacağınızı varsayıyoruz). Dünyanın bir bölümünün aynı şekilde kapalı olduğunu varsayar ve yeterince beklersek; dünyadaki rastlantısal olaylar sonucu enerji, su örneğinde olduğu gibi, düzgün bir şekilde yayılacak, tek-yönlülük yok olacak ve dünyada, bu açıdan gerçekten ilgiye değer hiçbir iz kalmayacaktır. Böylece, başka hiçbir şey içermeyen dar kapsamlı çark, kastanyola ve pervane örneğinde olduğu gibi her iki taraftaki sıcaklık giderek birbirinin aynı olacak, çark da şu veya bu tarafa dönmeyecektir. Aynı şekilde, herhangi bir sistemi uzun süre kendi haline bırakırsanız içerdiği enerji iyice karışır ve herhangi bir işte kullanılabilecek enerji kalmaz.

Burada ıslaklığa, veya "su verme kolaylığına tekabül eden şey sıcaklıktır. İki şey aynı sıcaklıkta olduğu zaman bir denge oluştuğunu söyleriz, ancak bu onların enerjilerinin de aynı olduğu anlamına gelmez; sadece, birinden enerji çıkarmanın öbüründen çıkarmak kadar kolay olduğunu belirtir. Sıcaklık "enerji verme kolaylığı" gibi bir şeydir. Onları yanyana koyarsanız, görünürde hiçbir şey olmaz. Enerjiyi eşit olarak ileri geri birbirlerine geçirirler; ancak, net sonuç sıfırdır. Öyleyse, nesnelerin hepsi aynı sıcaklığa ulaşınca, bir şey yapmak için kullanabileceğimiz enerji yoktur. Ters-çevrilemezlik ilkesi öyledir ki, eğer cisimlerin sıcaklıkları farklı ise ve kendi hallerine bırakılırlarsa zaman geçtikçe sıcaklıkları birbirine yaklaşır ve enerjinin kullanılabilirliği giderek azalır.

Bu, entropinin durmadan arttığını söyleyen entropi yasasının değişik bir ifadesidir. Sözcükler üstünde durmayalım. Bir başka deyişle, kullanılabilir enerji durmadan azalıyor da diyebiliriz. Bu, düzensiz molekül hareketleri kaosunun yol açtığı bir dünya özelliğidir. Farklı sıcaklıktaki şeyler kendi hallerine bırakılırlarsa aynı sıcaklıkta olmaya yönelirler. Aynı sıcaklıkta iki şeyiniz, örneğin yanmayan bir ocak üstüne konulmuş su varsa, ocak ısınıp su donmayacaktır. Ancak, yanan bir ocak ve buz varsa tersi olacaktır.

Demek ki tek yönlülük, her zaman kullanılabilir enerjinin kaybedilmesine yol açar.

Bu konuda söyleyeceklerim bu kadar. Ancak, bazı temel özellikler hakkında birkaç noktaya da değinmek istiyorum. Burada ters-çevrilemezlik gibi bir sonucu apaçık olan, ancak yasaların aşikar bir sonucu olmayan, temel yasalardan oldukça farklı bir örneğimiz var. Bunun nedenini anlamak birçok analiz gerektirir. Bu sonuç, dünyanın ekonomisi ve aşikar görünen her konudaki gerçek davranışı bakımından çok önemlidir. Belleğim, özelliklerim, geçmiş ile gelecek arasındaki fark tamamen bununla içiçedir. Ancak yasaları bilmek bunu kolayca açıklamaya yetmiyor; birçok analiz de gerekiyor.

Fizik yasalarıyla olgular arasında aşikar ve doğrudan bir uyum olmaması sık karşılaşılan bir durumdur. Yasalar, değişik ölçülerde, deneyimlerden soyutlanmışlardır. Bu özel durumda, yasalar ters-çevrilebilir oldukları halde olguların çevrilememesi buna örnektir.

Ayrıntılı yasalarla gerçek olguların temel özellikleri arasında çoğu zaman büyük uzaklıklar vardır. Örneğin, bir buzula uzaktan bakıp denize düşen büyük kayaları, buz hareketlerini, vb. gördüğünüzde onun küçük altıgen buz kristallerinden oluştuğunu hatırlamanız gerekli değildir. Fakat, buzun yürümesinin gerçekten de altıgen buz kristallerinden kaynaklandığını biliyoruz. Buzulun davranışlarını anlamak için uzun zaman gerekir (gerçekte, kristalleri ne ölçüde incelemiş olursa olsun hiç kimse buz hakkında yeterli bilgi sahibi değildir). Buna karşın, kristalleri gerçekten anlarsak sonunda buzulları da anlayacağımızı umuyoruz.

Bu derslerde fizik yasalarının temel öğelerinden söz etmemize karşın, hemen eklemeliyim ki temel fizik yasalarım bugün bilebildiğimiz kadar bilmek, herhangi bir şeyi hemen anlamamızı sağlamıyor. Bunun için zaman gerekiyor, yine de ancak kısmen anlayabiliyoruz. Sanki doğa, gerçek dünyadaki en önemli şeylerin, bir sürü yasanın karışık bir rastlantısal sonucuymuş gibi göründükleri bir şekilde düzenlenmiş.

Bir örnek gerekirse, proton ve nötron gibi bazı nükleer parçacıkları içeren atom çekirdekleri çok karmaşıktırlar. Enerji düzeyi dediğimiz bir şeylere sahiptirler ve değişik Enerji değerleri olan durum veya şartlarda bulunurlar. Farklı çekirdeklerin Enerji düzeyleri de birbirinden farklıdır. Enerji düzeylerinin durumunu saptamak karmaşık bir matematiksel problemdir; bunu ancak kısmen çözebiliyoruz. Düzeylerin kesin durumu son derece

karmaşık bir şeyin sonucudur. Bu nedenle, içinde 15 parçacık bulunan nitrojen 2.4 milyon voltluk bir düzeyi, bir başkasının da 7.1 düzeyi, vb. olmasında şaşılacak bir şey yoktur. Doğa hakkında çok ilginç olan bir şey vardır: Tüm evrenin kendine özgü yapısı belirli bir çekirdekteki özel bir enerji düzeyinin durumuna bağımlıdır. Karbon^{12} çekirdeğinde 7.82 milyon voltluk bir düzey olduğu saptanmıştır. Bu da akla gelebilecek her şey için çok büyük önem taşımaktadır.

Durum şöyledir: Hidrojenle başlayalım. Başlangıçta Dünya neredeyse tümüyle hidrojenmiş gibi görünüyor. Çekimin etkisiyle hidrojen sıkışıp ısınıyor ve nükleer reaksiyon gerçekleşiyor; helyum oluşuyor. Sonra helyum hidrojenle kısmen birleşerek daha ağır birkaç element oluşturuyor. Ancak, daha ağır olan bu elementler hemen dağılıp yine helyuma dönüşüyorlar. Bu nedenle, birara, dünyadaki bütün diğer elementlerin nasıl ortaya çıktıkları anlaşılamıyordu. Çünkü, yıldızlardaki üretim süreci, hidrojenle başlayarak helyum ve yarım düzineden az başka elementten fazlasını ortaya çıkaramazdı. Bu problem karşısında Hoyle ve Salpeter[25] bir çıkış yolu bulunduğunu öne sürdüler. Buna göre, üç helyum atomu birleşip bir karbon yapabiliyorsa, bir yıldızda bunun ne sıklıkta meydana gelebileceğini kolayca hesaplayabiliriz. Sonuç şunu ortaya çıkardı: Karbon ancak tek bir rastlantısal olanakla oluşabilirdi. Eğer karbonda 7.82 milyon voltluk bir enerji düzeyi varsa, o zaman üç helyum atomu birleşebilir ve 7.82 düzeyi olmadığı zamankinden biraz daha uzun bir süre beraber kalabilirlerdi. Biraz daha uzun kaldıklarında, başka bir şeylerin oluşması ve yeni elementler yapılması için gerekli zaman sağlanacaktı. Eğer karbonda 7.82 milyon voltluk bir enerji düzeyi varsa, periyodik tablodaki diğer elementlerin nereden geldiği anlaşılabilirdi. Böylece dolaylı ve tepetaklak bir irdeleme ile karbonda 7.82 milyon voltluk bir düzey varolduğu tahmin edildi; laboratuvar deneyleri de bunun gerçek olduğunu gösterdi. Bu nedenle dünyada, bütün öbür elementlerin varolması, karbondaki bu özel düzeyin varlığı ile yakından ilişkilidir. Karbondaki bu özel düzeyin varlığı ise fizik yasalarını bilen bizlere, etkileşim içinde bulunan 12 karmaşık parçacığın çok karmaşık bir rastlantısal sonucu olduğu izlenimini veriyor. Bu örnek fizik yasalarını anlamanın dünyadaki önemli şeyleri doğrudan anlamayı gerektirmediğini çok güzel gösteren bir örnektir. Gerçek deneyimler çoğunlukla temel yasalardan çok uzaktırlar.

Dünya hakkında tartışırken onu hiyerarşik bir düzen içinde ve muhtelif düzeylerde ele alırız. Bundan kast ettiğim, dünyayı sınırları kesin ve belirli düzeylere ayırmak değil. Fikirlerin hiyerarşisinden ne anladığımı bir grup kavramı açıklayarak göstereceğim.

Örneğin, bir uçta fiziğin temel yasaları bulunuyor. Kesin açıklamalarının temel yasalarla yapılacağını düşündüğümüz yaklaşık kavramlar için başka başka terimler icat ederiz; örneğin “sıcaklık”. Sıcaklığın titreşim olduğunu düşünüyoruz; sıcak bir şey için kullandığımız sözcük de titreşen atomlar kütlesi için kullandığımız sözcüktür. Fakat sıcaklık hakkında konuşurken titreşen atomları unuttuğumuz da olur. Tıpkı buzullar hakkında konuşurken altıgen buzlan ve ilk başta yağan kar taneciklerini unuttuğumuz gibi.

Aynı şeye başka bir örnek de tuz kristalleridir. Bunlar temelde bir sürü proton, nötron ve elektrondan oluşur. Ancak bütün temel etkileşim düzenini içeren bir “tuz kristali” kavramımız vardır. Basınç da aynı türden bir kavramdır.

Buradan bir üst basamağa çıkarsak, bir başka düzeyde maddelerin özelliklerini buluruz. Örneğin, ışığın bir şey içinden geçerken ne kadar büküldüğünü gösteren “kırılma endeksi”, veya suyun kendim bir arada tuttuğunu gösteren “yüzey gerilimi”. Bunların her ikisi de sayılarla ifade edilir. Bunun atomların çekimlerinden vb. kaynaklandığını görmek için birçok yasa taramak gerektiğini sizlere hatırlatırım. Ama yine de “yüzey gerilimi” terimim kullanırız ve bunu tartışırken içerilerde ne olup bittiğine her zaman pek aldırmayız.

Hiyerarşide bir basamak daha yukarı çıkalım. Su konusunu ele alırsak dalgalar, bir de fırtına diye bir şey çıkıyor karşımıza. “Fırtına” sözcüğü de çok büyük bir olaylar topluluğunu ifade eder. Sonra “güneş lekeleri”, birer nesneler topluluğu olan “yıldızlar" var. Her zaman fazla geriye giderek düşünmeye değmez. Gerçekten bunu yapamayız da. Çünkü yukarılara çıktıkça araya gittikçe zayıflayan yeni basamaklar girer. Hepsini birden ele alarak düşünmeyi henüz başaramadık.

Bu karmaşıklık sıralamasında yukarılara çıktıkça, fiziksel dünyada son derece karmaşık bir şey olan, maddeyi son derece incelikli bir karmaşıklıkla düzenlemeyi gerektiren, kas-seğirmesi veya sinir uyarısı gibi şeylerle karşılaşırız. Daha sonra da “kurbağa” gibi şeyler gelir. Çıkmaya devam ediyoruz; “insan”, “tarih”, “politika” vb. sözcük ve kavramlara, daha üst

düzeydeki şeyleri anlamak için kullandığımız bir dizi kavrama geliyoruz; çıkmayı sürdürerek kötülük, güzellik, umut gibi şeylere ulaşıyoruz.

Dinsel bir mecaz yaparsak, hangi uç Tanrı'ya daha yakındır? Güzellik ve umut mu, yoksa temel yasalar mı? Söylenmesi gerekenin şu olduğunu sanıyorum: Varlığın içiçe geçmiş bağlantılarının tümüne bakmamız gerekir. Bütün bilimler, yalnız bilimler değil bütün entellektüel kökenli çabalar, hiyerarşik basamaklar arasında aşağıya ve yukarıya doğru olan bağlantıları bulmaya; güzellikle tarih, tarihle insan psikolojisi, insan psikolojisiyle beynin işlevleri, beyinle sinirsel uyanlar, sinirsel uyanlarla kimya, vb. arasında bağlantı kurmaya yönelik çabalardır. Bugün bunu yapmıyoruz. Kendimizi kandırıp bu şeyin bir ucundan öbürüne uzanan bir doğru çizebileceğimizi sanmanın yararı yoktur; çünkü, böyle bir göreceli hiyerarşinin varolduğunu yeni yeni görmeye başladık.

İki uçtan birinin Tanrı'ya daha yakın olduğunu da sanmıyorum. îki uçtan birinde durmak, iskelenin yalnızca o ucunda yürüyüp olan bitenleri tam olarak anlamanın o yönde gerçekleşeceğine inanmak yanlıştır. Kötülük, güzellik ve umuttan yana veya temel yasalardan yana olmak; bütün dünyayı derinliğine kavramanın yalnız o yolla olacağını ummak doğru değildir. Bir uçta uzmanlaşanın öbür uçta uzmanlaşanı önemsememesi akla uygun değildir. Bu iki ucun arasında çalışan büyük kütle sürekli olarak, bir adımı diğeri ile birleştirerek, dünyayı gittikçe daha iyi anlamamızı sağlıyor. Bu yolla, hem iki uçta hem de ortada çalışarak yavaş yavaş bu içiçe hiyerarşinin olağanüstü büyük dünyasını anlamaya başlıyoruz.

Olasılık ve Belirsizlik
Kuantum Mekaniği Açısından Doğa

Deneysel gözlem sürecinin geçmişteki aşamalarında veya herhangi bir şeyin bilimsel açıdan gözleminde, olaylara makul bir açıklama getiren şey sezgi olmuştur. Sezgi ise, günlük şeylerle ilgili basit deneyimlerimizden

kaynaklanır. Gördüklerimizi daha kapsamlı ve daha tutarlı bir şekilde açıklamaya çalıştıkça, alan genişleyip çok daha çeşitli olgularla karşılaştıkça, açıklamalar da basit açıklamalar yerine yasa dediğimiz şeylere dönüşür. Yasaların tuhaf bir özelliği vardır; sağduyudan ve sezgisel olarak apaçık olandan giderek uzaklaşıyor gibi görünürler. Buna bir örnek olarak görecelik teorisini ele alalım. Önerilen şudur: İki şeyin aynı anda olduğunu düşünüyorsanız, bu sizin kanınızdır; başka birisi olaylardan birinin diğerinden önce olduğu sonucunu çıkarabilir; bu nedenle de “aynı anda olma” durumu, yalnızca sübjektif bir izlenimdir.

İşlerin başka türlü olmasını beklemek için bir neden yoktur. Çünkü, günlük yaşamdaki deneyimler çok yavaş hareket eden şeylerle, ya da çok özel koşullarla ilgilidir; dolayısıyla doğadaki çok kısıtlı olguları temsil ederler. Doğal olguların Sancak çok küçük bir bölümü doğrudan deneyim yoluyla anlaşılabilir. Daha geniş bir bakış açısını ancak hassas ölçümler ve dikkatli denemeler sonucu kazanırız. O zaman da hiç beklenmeyen şeyler görürüz; tahmin edebildiğimizden çok farklı, hayal edebileceğimizden öte şeyler... Hayal gücümüz sonuna kadar gerilir; kurgu romanlarda olduğu gibi gerçekte varolmayan şeyleri hayal etmek değil, *varolan* şeyleri kavramak için. Konuşmak istediğim konu da budur.

Işık teorisinin tarihçesi ile başlayalım. Önceleri ışığın yağmur gibi, tüfekten atılan mermiler gibi, bir parçacıklar, tanecikler sağanağına benzer şekilde davrandığı varsayılıyordu. Daha ileri araştırmalar sonucu bunun doğru olmadığı, ışığın gerçekte dalga gibi, örneğin sudaki dalgalar gibi davrandığı ortaya çıktı. Sonra, 20. yüzyılda yeni araştırmalar, ışığın birçok yönden gerçekten parçacıklar gibi davrandığı izlenimim uyandırdı. Foto-elektrik etkilerle bu parçacıklar sayılabiliyordu -şimdi onlara foton deniliyor. Elektronlar, ilk keşfedildiklerinde tamamen parçacıklar gibi, mermiler gibi davranıyorlardı. Daha sonraki deneyler; örneğin elektron saçınım (diffraction) deneyleri, elektronların dalga gibi davrandıklarını ortaya koydu. Zaman geçtikçe elektronların nasıl davrandıkları konusunda giderek artan bir şaşkınlık baş gösterdi -dalga mı parçacık mı, parçacık mı dalga mı? Eldeki veriler ikisine de benzediklerine işaret ediyordu.

Gittikçe artan bu kargaşa 1925 veya 1926’da kuantum mekaniği için doğru denklemlerin bulunmasıyla çözüme kavuştu. Elektronların ve ışığın nasıl davrandıklarını artık biliyoruz. Nasıl mı davranıyorlar? Parçacık gibi davrandıklarını söylersem yanlış izlenime yol açmış olurum. Dalga gibi

davranırlar desem, yine aynı şey. Onlar kendilerine özgü, benzeri olmayan bir şekilde hareket ederler. Teknik olarak buna "kuantum mekaniksel bir davranış biçimi" diyebiliriz. Bu, daha önce gördüğünüz hiçbir şeye benzemeyen bir davranış biçimidir. Daha önce gördüğünüz şeylerle edindiğiniz deneyimler eksiksiz değildir. Çok küçük ölçekteki şeylerin davranışı için söyleyeceğimiz tek şey onların farklı davrandıklarıdır. Bir atom, bir yay ucuna asılmış sallanan bir ağırlık gibi davranmaz. Küçücük gezegenlerin yörüngeler üzerinde hareket ettikleri minyatür bir güneş sistemi gibi de davranmaz. Çekirdeği saran bir bulut veya sis tabakasına da pek benzemez. Daha önce gördüğünüz hiçbir şeye benzemeyen bir şekilde davranır.

En azından bir basitleştirme yapabiliriz: Elektronlar bir anlamda tıpkı fotonlar gibi davranırlar; ikisi de "acayiptir", ama aynı şekilde.

Nasıl davrandıklarını algılamak bir hayli hayal gücü gerektirir; çünkü açıklayacağımız şey bildiğiniz her şeyden farklıdır. En azından bu yönüyle, soyut olması ve deneyimlerimizden farklı olması yönüyle, bu ders belki de bu dizinin en zor dersi olacaktır. Bunu önleyebilme olanağım yok. Fizik yasalarının özellikleri hakkında bir dizi konferans verip küçük ölçekteki parçacıkların gerçek davranışlarından söz etmesem işi yarım bırakmış olurum. Bahsedeceğim şey doğadaki bütün parçacıklara özgü evrensel bir özelliktir. Öyleyse, fizik yasalarının özelliklerini bilmek istiyorsanız, bu özel konunun anlatılması zorunludur.

Bu zor olacak. Ancak gerçekte bu zorluk psikolojiktir, kendinize sürekli "ama bu nasıl olabilir?" diye sormanın yarattığı sıkıntıdan kaynaklanır. Sorduğunuz bu soru, onu alışılmış bir şeyler cinsinden görmek arzusu gibi dayanılmaz fakat son derece olanaksız bir arzunun dışa vurumudur. Onu alışılmış bir şeye benzeterek açıklayacak değilim; yalnızca açıklayacağım. Bir zamanlar gazetelerde görecelik teorisinin sadece on iki kişi taralından anlaşıldığı yazılmıştı. Hiçbir zaman öyle bir dönem olduğunu sanmıyorum. Onu yalnız tek bir kişinin anladığı bir dönem olabilirdi; çünkü, daha kaleme almadan önce bu teoriyi fark eden kişiydi o. Ancak onun çalışmasını okuyan birçok kişi görecelik teorisini şu veya bu şekilde anladı; bunların sayısı da kuşkusuz on ikiden çoktu. Buna karşın, kuantum mekaniğini kimsenin anlamadığını rahatlıkla söyleyebilirim. Bu nedenle, anlatacaklarımı gerçekten anlamanız gerektiğini düşünerek dersi çok da ciddiye almayın; gevşeyin ve keyfini çıkarın! Size doğanın ne şekilde

davrandığını anlatacağım. Onu, bu şekilde davranabileceğini kabul ederseniz, çok sevimli ve büyüleyici bulacaksınız. Eğer yapabilirseniz, kendinize sürekli “ama bu nasıl olabilir?” diye sormayın; çünkü çabanız boşunadır; şimdiye kadar hiç kimsenin kurtulamadığı bir çıkmaz sokağa girersiniz. Bunun neden böyle olabildiğini hiç kimse bilemiyor.

Şimdi sizlere elektron ve fotonların kuantum mekaniksel olarak nasıl davrandıklarım anlatacak ve bunu yaparken hem benzetme, hem de karşıtlıklardan yararlanacağım. Yalnızca benzetmelerden yola çıkarsak başaramayız; açıklayacağımız Şeyleri, bildiğimiz şeylere benzeyen ve ters düşen yönleriyle ele almak gerekir. Benzetme ve karşıtlığı, önce parçacıkların davranışı için mermiler, sonra da dalgaların davranışı için su dalgalarını kullanarak yapacağım. Bunun için özel bir deney düzenleyeceğim. Sizlere önce parçacıklar kullandığımda deneyin nasıl gelişeceğini; sonra da dalgalar için neler olabileceğini; son olarak da, sistemde gerçekten elektronlar ve fotonlar olduğu zaman gerçekleşecekleri anlatacağım. Kuantum mekaniğinini bütün sırlarını içeren bu tek deneyle sizi doğanın tuhaflıkları, gizemleri ve paradoksları ile yüz yüze getireceğim. Kuantum mekaniğinde karşılaşılacak herhangi başka bir durumun “iki delikle yapılan deneyi anımsıyor musunuz? Bu da aynı şey,” diyerek açıklanabileceği anlaşılmıştır. Şimdi sizlere iki delikle yapılan deneyi anlatacağım. Deney bu anlaşılmaz şeyin tümünü içeriyor. Hiçbir şeyi atlamayacağım ve size doğayı en zarif ve zor şekliyle, bütün çıplaklığıyla ortaya koyacağım. Önce mermilerle başlıyoruz (Şekil 28).

Şekil 28

Mermi kaynağı olarak bir makinalı tüfeğimiz, onun önünde mermilerin geçebileceği bir delik bulunan bir levhamız olduğunu, levhanın da kurşun geçirmez olduğunu varsayalım. Daha ötede, iki deliği olan -şu ünlü iki delik- ikinci bir levha olsun. Bu deliklerden sık sık söz edeceğim için onlara Delik 1 ve Delik 2 diyeceğim. Delikleri üç boyutta yuvarlak delikler olarak düşünmelisiniz; resim sadece kesiti gösteriyor. Yine uzun bir aralıktan sonra engelleyici bir perde konulmuştur. Engele değişik konumlarda dedektörler takılabilmektedir; bu, örneğin mermilerin bulunup sayılabilmesini sağlayan içi kum dolu bir kutu olabilir. Yapacağım deneylerde bu dedektör veya kutuyu çeşitli konumlara yerleştirip içine kaç merminin düştüğünü sayacağım. Bunu yaparken, kutunun belirli bir noktadan olan uzaklığını ölçüp ona “x” diyeceğim ve “x”i değiştirdiğimizde, yani dedektör kutusunu aşağı yukarı hareket ettirdiğimizde, neler olacağından söz edeceğim. ilkönce gerçek mermilerde, üç soyutlama ile bazı değişiklikler yapacağım. Birincisine göre, makineli tüfek titrek ve sallantılı olduğundan mermiler dümdüz değil de farklı yönlere gider ve kurşun geçmez levhadaki deliğin kenarlarından sekebilirler. İkinci olarak, çok önemli olmasa da, mermilerin hepsinin hızının veya Enerjisinin aynı olduğunu söyleyeceğiz. Gerçek mermiler gözönüne alınarak, en önemli soyutlama da bu mermilerin kesin olarak tahrip olunamaz olmasıdır. Kutuda kurşun parçaları veya yarım

mermiler değil, bütün mermiler bulmak istiyoruz. Tahrip edilemeyen mermiler ve yumuşak bir zırh düşünün.

Bu mermilerde dikkatimizi çeken ilk şey onların hepsinin taneler halinde gelmeleridir. Gelen enerji bir mermiliktir: tek bir bom! Mermileri sayarsanız bir, iki, üç, dört mermi vardır ve birer birer gelmişlerdir. Hepsinin aynı büyüklükte olduğunu varsayıyoruz. Her biri kutuya geldiğinde ya tümüyle içeride veya tümüyle dışarıda olacaktır. Bundan başka, iki ayrı kutu koyarsak ve tüfeğin çok hızlı ateşlenmediğini, atış aralarında onları gözlemek için yeterince zaman olduğunu kabul edersek; kutularda aynı anda giren iki mermi olmayacaktır. Tüfeğin atışım yavaşlatır ve iki kutuya çabucak göz atarsınız, iki kutuya aynı anda giren iki mermi göremezsiniz; çünkü, her mermi belirli tek bir kütledir.

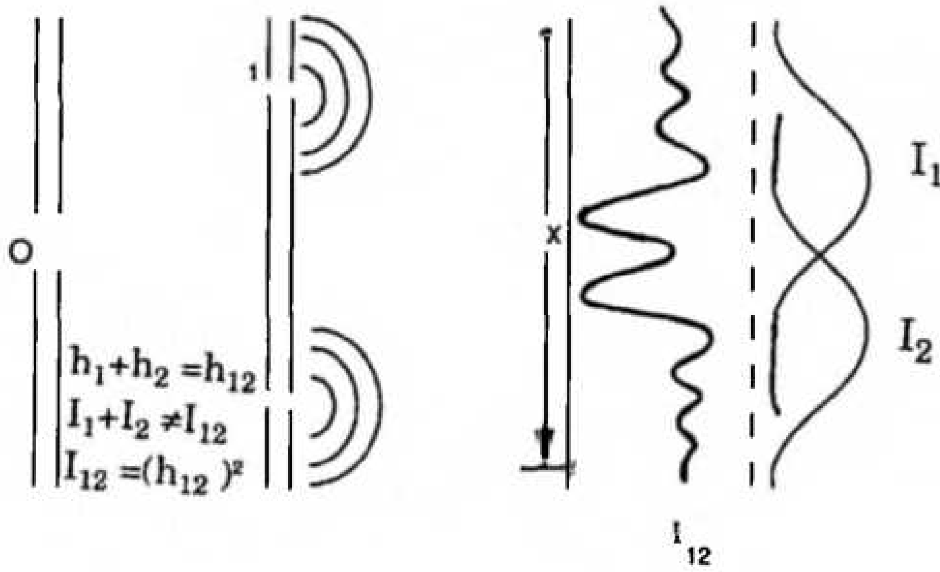
Şimdi, belirli bir süre içinde ortalama kaç merminin geldiğini ölçmek istiyorum. Bir saat beklediğimizi düşünelim ve kumda kaç mermi olduğunu sayıp ortalamasını alalım. Bir saat içinde gelen mermi sayısına “gelme olasılığı” diyebiliriz. Çünkü, bu sayı bize delikten geçen bir merminin kutu içine düşme şansının ne olduğunu verir. “x”i değiştirdiğim zaman kutuya düşen mermi sayısı da doğal olarak değişecektir. Şekilde, kutuyu her konumda bir saat süre ile tuttuğum ve kutuya gelen mermi sayısını yatay olarak gösterdiğim zaman elde edilen eğriyi çizdim. Bu durumda yaklaşık olarak N12 eğrisine benzeyen bir eğri elde ederim. Çünkü, kutu eğer deliklerden birinin arkasında ise içine birçok mermi düşecek, bundan biraz farklı durumda olduğunda ise mermiler deliğin kenarlarına çarpıp sekeceklerinden içine daha az mermi düşecek ve sonuç olarak eğri, uçlarda sıfıra düşecektir. Eğri N12’ye benzeyecektir, iki delik de açık olduğunda elde edeceğimiz sayıya N12 diyeceğim; bu, Delik 1 ve 2’nin her ikisinden kutuya gelen mermilerin sayısı demektir.

Size, grafiğini çizdiğim sayının tam sayılardan oluşmadığını hatırlatmak isterim. Bu, herhangi bir sayı olabilir. Mermiler bütün olarak geldiği halde saatte iki buçuk mermi de olabilir. Saatte iki buçuk mermi demek, on saat çalıştırırsanız yirmi beş mermi, yani ortalama olarak saatte iki buçuk mermi gelmesi demektir. Sanırım hepiniz A.B.D.’deki ortalama bir ailenin iki buçuk çocuğu olduğu hakkında yapılan şakaları bilirsiniz. Bu, herhangi bir ailede bir yarım çocuk olduğu anlamına gelmez; çocuklar bütün olarak gelirler! Ancak yine de aile başına ortalama aldığımızda sonuç herhangi bir sayı olabilir. N_{12} de bu tür bir sayıdır; saatte kutuya gelen ortalama mermi

sayısını gösterir ve tam sayı olması gerekmez. Ölçtüğümüz şey, “verilen bir zaman süresinde gelen ortalama sayı” için teknik bir deyim olan “gelme olasılığadır.

N_{12} eğrisini incelersek onu kolayca iki eğrinin toplamı olarak yorumlayabiliriz: Delik 2’nin, önüne konulan bir başka levha ile kapatılmış olduğu zaman gelen mermi sayısı olan N_1 ile, Delik 1 kapalı olduğu zamanki N_2 sayısının toplamı. Şimdi çok önemli olan şu yasayı keşfetmiş oluyoruz: Her iki delik açık olduğu zaman gelen sayı, Delik 1’den gelen sayı ile Delik 2’den gelen sayının toplamına eşittir. Yapacağımız tek şeyin bu ikisini toplamak olduğunu söyleyen önermede önemli olan, girişimin olmayışıdır.

$$\mathbf{N_{12} = N_1 + N_2 \text{(girişim yok)}}$$



Şekil 29

Mermiler için bu sonucu bulduk; işin bu kısmı bitti. Şimdi mermiler için yaptıklarımızı su dalgaları ile tekrarlayacağız (Şekil 29). Bu durumda kaynak, suda aşağı yukarı salladığımız büyük bir kütledir. Kurşun geçmez levha da içinden suyun geçeceği bir aralık bulunan mendireklerden veya mavnalardan oluşmuş bir engeldir. Bu deneyi büyük okyanus dalgaları yerine küçük dalgacıklarla yapmak daha akıllıca olacaktır. Parmağımı aşağı yukarı sallayarak dalga yapıyorum ve dalgacıkların geçebileceği bir deliği olan bir tahta parçasını da engel olarak kullanıyorum. Daha sonra iki deliği olan ikinci bir engel, son olarak da bir dedektör koyuyorum. Dedektör

suyun ne kadar titreştiğini saptıyor. Suya, örneğin bir mantar koyup onun aşağı ve yukarı hareketlerini ölçerim. Ölçeceğim şey gerçekte mantarın sallanmalarının enerjisidir; bu da dalgaların taşıdığı enerji ile tam olarak orantılıdır. Dalgalanmanın, dalgaların birbirinden uzaklıkları eşit olacak şekilde düzgün ve kusursuz yapıldığını varsayacağım. Su dalgaları konusunda önemli olan bir şey de ölçtüğümüz şeyin herhangi bir büyüklükte olabilmesidir. Biz dalganın şiddetini, veya mantarın enerjisini ölçüyoruz. Eğer dalgalar çok sakinse ve eğer parmağımı çok az sallıyorsam, mantarın hareketi de küçük olacaktır. Enerji, ne kadar olursa olsun, orantılıdır. Herhangi bir büyüklükte olabilir; bütünler halinde gelmez; ya hep ya hiç değildir.

Ölçeceğimiz şey dalgaların şiddeti; veya daha kesin olmak gerekirse, dalgaların bir noktada meydana getirdiği enerjidir. Bu şiddeti ölçersek ne görürüz? Buna, herhangi bir parçacık sayısı olmayıp şiddet olduğunu vurgulamak için I diyeceğim. Her iki deliğin de açık olduğu durumdaki eğri olan şekilde gösterilmiştir (Şekil 29). Bu karışık görünümlü, ilginç bir eğridir. Dedektörü değişik konumlara getirdiğimizde çok hızlı ve tuhaf bir şekilde değişen bir şiddet eğrisi elde ederiz. Bunun nedenini belki de biliyorsunuzdur. Neden şudur: Dalgalar ilerlerken hem Delik 1, hem Delik 2’den yayılan tepe ve çukur noktaları oluşur. Her iki delikten eşit uzaklıkta olan bir noktada, oraya aynı anda vardıklarından iki dalga üstüste binerler ve dalgalanma artar. En ortada birçok titreşim vardır. Buna karşın eğer dedektörü Delik 2’den, Delik 1’e göre daha uzak olan bir noktaya getirirsem dalgaların Delik 2’den gelmesi, Delik 1’den gelmelerine göre daha çok zaman alır; Delik 1’den gelen bir tepe noktası dedektöre ulaştığında Delik 2’den gelen tepe noktası henüz ulaşmamıştır; daha doğrusu Delik 2’den bir çukur nokta ulaşmıştır. Bu nedenle, iki delikten gelen dalgaların etkisiyle su yükselmeye çalışır, alçalmaya çalışır ve sonuç olarak hareketsiz kalır; veya hemen hemen hareketsiz kalır. Bu nedenle o noktada hafif bir tümsek oluşur. Daha ileride yeterince gecikme meydana gelir ve iki dalga tepesi, biri diğerinden bütün bir dalga geride olsa da, üstüste biner ve tekrar büyük bir tepe oluşur. Böylece tepe ve çukur noktaların “giri-şim”ine bağlı olarak büyük, sonra küçük, sonra büyük, yine bir küçük... Burada girişim sözcüğü yine bilime özgü farklı bir şekilde kullanılmıştır. “Yapıcı girişim” dediğimiz, iki dalganın girişerek şiddeti artırdığı türden bir girişim elde edebiliriz. Önemli olan I_{12}'nin I_1 artı l_2'ye

eşit olmamasıdır; biz de yapıcı ve yıkıcı girişimlerin yer aldığını söyleriz. I_1 ve I_2'nin şeklini bulmak için Delik 2'yi kapatarak I_1'i, Delik 1'i kapatarak da 1_2'yi çizeriz. Bir deliği kapadığımız zaman bulduğumuz şiddet, tek delikten gelen, girişimin oluşmadığı şiddettir. Bu eğriler Şekil 29'da gösterilmiştir. Gördüğümüz gibi 1_1'e I_2 de N_2'ye benzemektedir; ancak N_{12}'den tamamen farklıdır.

Gerçekten de I_{12} eğrisinin matematiği oldukça ilginçtir, h diyeceğimiz su yüksekliğinin Delik 1 açık olduğu zamanla Delik 2 açık olduğu zamanki su yüksekliklerinin toplamına eşit olduğu doğrudur. Böylece, çukur nokta için Delik 2'nin yüksekliği negatif olduğundan, Delik 1'den kaynaklananı götürür. Bunu su yüksekliği cinsinden ifade edebilirsiniz. Ancak, her durumda, örneğin, iki delik de açık olduğu zaman, şiddetin yükseklikle aynı olmadığı, fakat yüksekliğin karesi ile orantılı olduğu görülür. Kareler alındığı için, bu çok ilginç olan eğrileri buluruz.

$$\mathbf{h_{12} = h_1 + h_2}$$

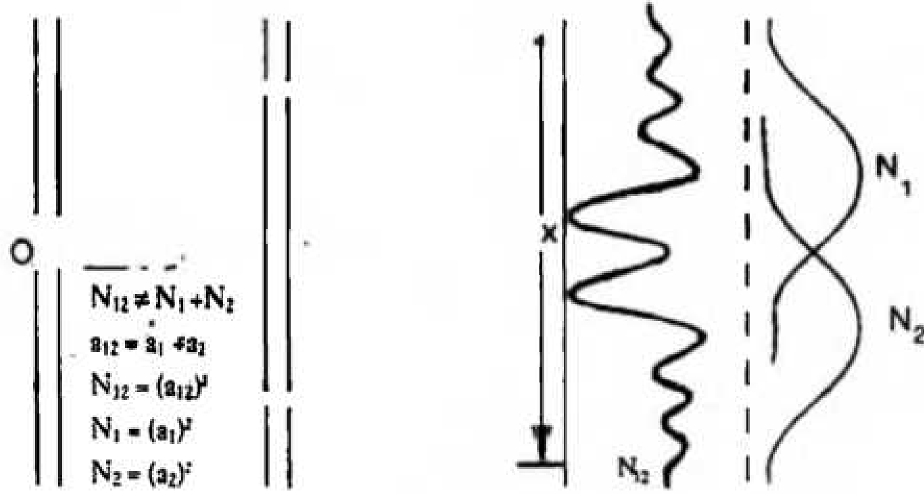
ancak

$$\mathbf{I_{12} \neq I_1 + I_2} \text{ (girişim)}$$

$$\mathbf{I_{12} = (h_{12})^2}$$

$$\mathbf{I_2 = (h_2)^2}$$

Su için durum budur. Şimdi aynı şeyi elektronlar için ele alacağız (Şekil 30).



Şekil 30

Kaynak olarak bir flaman; engel olarak üzerinde delikler bulunan bir tungsten levha; dedektör olarak da, kaynağın enerjisini taşıyarak gelen bir elektronun yükünü yeterince hassas olarak saptayabilecek herhangi bir elektrik sistemi kullanacağız. İstersek elektron yerine fotonlar, tungsten levha yerine siyah bir kağıt kullanabiliriz -siyah kağıttaki lifler keskin kenarlı delikler yapmaya uygun olmadığından daha iyi bir şey bulmamız gerekir- dedektör olarak da gelen fotonları tek tek ayırt edebilecek bir foto-çoğaltıcı kullanabiliriz. Her iki durumda neler olur? Ben yalnızca elektronların kullanıldığı deneyi anlatacağım; fotonlar la da durum aynıdır.

İlk olarak, arkasında yeterince güçlü bir amplifikatör bulunan dedektörden çıtırtılar alınmaya başlanır. Duyulan çıtırtı belirli ve sabit bir güçtedir. Kaynağı zayıflatırsanız, çıtırtı sesleri aynı güçte fakat daha seyrek olarak duyulacaktır. Eğer kaynağı yükseltirseniz çıtırtılar amplifikatörü tıkayacak ölçüde hızlanır. Kaynağı, dedektör olarak kullandığınız cihazın kapasitesini aşan çıtırtıyı almayacak şekilde kısmanız gerekir. Daha sonra bir başka yere bir dedektör koyup ikisini de aynı zamanda dinlerseniz iki çıtırtı işitemezsiniz; en azından, eğer kaynak yeterince zayıf ve zaman ölçümü yeterince hassas ise. Eğer kaynağın şiddetini, elektronların daha az ve seyrek olarak gelmesini sağlayacak ölçüde düşürürseniz iki dedektörden aynı anda çıtırtı gelmeyecektir. Bu, gelen şeyin tanecikler halinde geliyor olması demektir (belli bir büyüklüğü olan ve tek bir anda tek bir yere gelen tanecikler). Güzel, demek ki elektron ve fotonlar tanecikler halinde

gelmektedirler. Öyleyse, mermiler için yaptıklarımızı aynen tekrarlayabilir ve gelme olasılığını ölçebiliriz. Yapacağımız, dedektörü farklı noktalarda, diyelim birer saat süreyle tutup her saatin sonunda kaç elektron geldiğini ölçüp ortalamasını almaktır. Gelen elektron sayısı için ne buluyoruz? Mermiler için bulduğumuz türden bir mi? Şekil 30'da N_{12} için, yani iki deliğin de açık olduğu zaman ne bulduğumuz gösterilmiştir. Doğanın davranışı böyledir; dalgaların girişimi için bulduğumuz eğrinin aynısı. Bu eğri hangi durum için elde edilmiştir? Dalganın Enerjisi için değil, tanecik halinde geldiği zamanki olasılık için verilmiştir.

Bunun matematiği basittir. I yerine N koyarız, h'yı da yeni bir şeyle değiştirmemiz gerekir, çünkü hiçbir şeyin yüksekliğini göstermemektedir. Bir "a" icat ederiz ve ona olasılık genliği deriz; çünkü, ne olduğunu bilmiyoruz. Bu takdirde a_1, Delik 1'den gelme olasılığının genliğini; a_2 ise Delik 2'den gelme olasılığının genliğini gösterir. Gelme olasılığının genliğini bulmak için ikisini toplayıp karesini alırız. Burada, dalgalar için yaptığımızın doğrudan bir benzerini yapıyoruz. Çünkü, aynı eğriyi elde etmemiz gerekiyor; biz de aynı matematiği kullanıyoruz.

Ama bir noktayı, girişimi kontrol etmek gerekiyor. Deliklerden birini kapadığımızda ne olduğundan söz etmedim. Şimdi elektronların, deliklerin yalnız birinden gelmesi durumunda elde edilen bu ilginç eğriyi ele alalım. Deliklerden birini kapatıp Delik 1'den kaç adet geçtiğini bulup basit N_1 eğrisini elde ediyoruz. Diğer deliği kapatıp ölçtüğümüzde de N_2 eğrisini elde ediyoruz. Ancak bu ikisi toplandığında $N_1 + N_2$ için olan eğriyi elde etmiyoruz; girişim işe karışıyor. Gerçekten de bunun matematiği değişiktir. Gelme olasılığı bir genlik karesidir ve bu genliğin kendisi de iki şeyin toplamıdır: $N_{12} = (a_1+a_2)^2$. Buradaki problem şudur: Elektron Delik 1'den geçtiğinde bir şekilde, Delik 2'den geçtiğinde başka bir şekilde dağıldığı halde, iki delik de açık olduğunda neden bu ikisinin toplamı değildir? Örneğin, dedektörü iki delik de açıkken q noktasına koyarsam neredeyse hiçbir şey gelmiyor; ama bir deliği kapattığımda birçok, iki deliği de kapattığımda da biraz bir şeyler geliyor. iki deliği de açık bırakıyorum, hiçbir şey gelmiyor; iki delikten de gelmelerine olanak sağlarsam yine gelmiyorlar. Bir de ortadaki noktayı ele alalım. Bunun tek tek iki deliğe ait eğrilerin toplamından biraz daha fazla olduğunu gösterebiliriz. Yeterince zeki olsaydım onların deliklerden bir şekilde ileri geri gidip geldikleri, veya

karmaşık bir şeyler yaptıkları, yahut da bazılarının ikiye bölünüp her iki delikten geçtikleri gibi bu olayı açıklayıcı şeyler ileri sürebileceğimi düşünebilirsiniz. Ancak eğrilerin de matematiğin de çok basit olması nedeniyle (Şekil 30) henüz hiç kimse doyurucu bir açıklama yapmayı başaramamıştır. Bir özetleme yapacak olursak, elektronlar tanecikler gibi gelir; ancak, bu taneciklerin gelme olasılıkları dalga şiddetinde olduğu gibi saptanır, işte bu anlamda elektronlar bazen dalga bazen de tanecik gibi davranır. Aynı anda iki farklı şekilde davranırlar (Şekil 31).

TABLO

Mermiler	Su dalgaları	Elektronlar (Fotonlar)
tanecik olarak gelirler	her büyüklükte olabilirler	tanecik olarak gelirler
gelme olasılığını ölçer	dalga şiddetini ölçer	gelme olasılığını ölçer
$N_{12} = N_1 + N_2$	$I_{12} \neq I_1 + I_2$	$N_{12} \neq N_1 + N_2$
girişim yoktur	girişim vardır	girişim vardır.

Şekil 31

İşte bütün söylenecekler bu kadar. Durumların her birinde elektronların gelme olasılığını bulmayı sağlayan bir matematiksel ifade verseydim ilke olarak bu konu bitmiş olurdu. Ancak, doğanın bu şekilde davranması gerçeğiyle ilgili olan bazı incelikli noktalar vardır ve bunları tartışmak isterim; çünkü bu aşamada bunlar aşikar olmayabilirler.

Önce, bu şeyler tanecik olduklarından, akla yakın bulacağımız bir önermeyi ele alalım. Gelen şeyler, yani elektronlar her zaman tam bir tanecik şeklinde olduklarından, bir elektronun ya Delik 1 ya da Delik 2'den geçeceğini varsaymak akla yakın olur. Eğer tanecik ise başka bir şey yapamayacağı apaçıktır. Şimdi bu önermeyi tartışacağım için ona bir isim vermek gerekiyor; ben de A önermesi diyeceğim.

Önerme A:

Elektron, ya Delik 1'den, ya da Delik 2'den geçer.

A önermesinin nasıl bir sonuç verdiğini daha önce biraz açıklamıştık. Eğer bir elektronun ya Delik 1 ya da Delik 2'den geçtiği doğru ise gelen toplam elektron sayısının bu ikisinin toplamı olarak ayrımlanabilmesi

gerekir. Toplam sayı Delik 1 yolu ile gelenlerle Delik 2 yoluyla gelenlerin toplamı olacaktır. Ancak, toplam eğri, iki eğri parçasının böyle güzel bir toplamı olacak şekilde ayrımlanamadığı için, ve de deliklerden birinin veya öbürünün açık olduğu durumda gelen elektronların sayısını saptayan deneyler toplam sayının, bu ikisinin toplamı olduğu sonucunu vermediği için, A önermesinin yanlış olması gerektiği sonucuna varmamız kaçınılmazdır. Eğer elektronların yalnızca Delik 1 veya Delik 2’den geçtikleri doğru değilse, belki de geçici bir süre için ikiye ayrılmakta, ya da buna benzer bir şey gerçekleşmektedir. Öyleyse A önermesi yanlıştır. Bu mantıktır. Mantığı deneylerle sınayabilmemiz belki bir şanssızlık, belki de şanslılıktır. Elektronların yalnızca Delik 1’den veya Delik 2’den geçtiklerinin doğru olup olmadığını veya belki de iki deliğin de etrafından dönüp geçici bir süre için bölündükleri olasılığını araştırmamız gerekiyor.

Yapmamız gereken tek şey onları gözlemektir. Gözlemek için de bize ışık gerekir. Biz de deliklerin arkasına çok güçlü bir ışık kaynağı koyarız. Işık, elektronlar tarafından saçılır ve onlara çarparak sıçrar. Eğer ışık yeterince güçlü ise elektronlar geçerken görülebilirler. Öyleyse, arkada durup elektronları sayarken, elektron sayılmadan önce Delik 1 veya Delik 2’nin arkasında ani bir ışık parıltısı veya her ikisinde de aynı anda bir “yarı-parıltı” olup olmadığına bakarız. Ne olup bittiğini bakarak saptayacağız. Işığı açar ve bakmaya başlarız; ve işte: dedektörde bir sayı olduğu her anda ya Delik 1, ya da Delik 2’nin arkasında bir parıltı çıkıyor. Elektronun tam olarak, yüzde yüz, Delik 1 veya Delik 2’den geldiğini görüyoruz. Burada bir paradoks var!

Şimdi doğayı biraz köşeye sıkıştıracağız. Ne yapacağımızı size anlatacağım. Işığı açık bırakarak kaç elektronun geçtiğine bakıp bunları sayacağız. Delik 1 ve Delik 2 için iki sütun düzenleyip dedektöre gelen her elektronu uygun sütuna işaretleyeceğiz. Dedektörün farklı konumlarında Delik 1 için bulunan toplam nasıl bir şey? Delik 1’in arkasından baktığımda ne görüyorum? Gördüğüm, N_1 eğrisidir (Şekil 30). Bu sütunun dağılımı Delik 2’yi kapattığımız zaman beklediğimizle aynıdır; baksak da bakmasak da aynı şekildedir. Delik 2’yi kapatırsak sanki Delik 1’den bakıyormuşuz gibi bir dağılım buluruz; Delik 2’den gelenlerin sayısı da basit bir N_2 eğrisidir. Şimdi, bütün gelenlerin sayısının da toplam sayı olması, yani sayısı artı N_2 sayısı olması gerekir; çünkü gelenlerin her biri sütun 1 veya sütun 2’de işaretlenmişti. Gelenlerin sayısı bu ikisinin toplamına *mutlaka*

eşit olmalı ve dağılım $N_1 + N_2$ olmalıdır, ancak eğrisi şeklinde olduğunu söylemiştim. Hayır, dağılım $N_1 + N_2$ şeklindedir. Gerçekten öyledir; öyle olmalıdır ve öyledir. Işık açık olduğu zamanki sonuçları “ ' ” işareti ile gösterirsek N_1’in ışık olmadığı durumda N_1 ile, N_2'nin de N_2 ile aynı olduğunu görüyoruz. Ancak, ışığın ve her iki deliğin açık olduğu durumda gördüğümüz N'_{12} Delik 1’den gelenlerle Delik 2’den gelenlerin toplamına *eşittir*. Işık olduğunda elde edilen sonuç budur. Işığı açtığımda veya kapadığımda farklı sonuçlar buluyorum. Işığı yaktığımda dağılım $N_1 + N_2$ eğrisi, söndürdüğümde ise N_{12}’dir. Işığı tekrar yakalım; sonuç yine $N_1 + N_2$‘dir. Gördüğünüz gibi doğayı köşeye sıkıştırdık! Öyleyse ışığın sonucu etkilediğini söyleyebiliriz. Işık açık iken bulunan sonuç, ışık kapalı iken bulunandan farklıdır. Işığın, elektronların davranışını etkilediğini de söyleyebilirsiniz. Biraz hata içeren bu deneydeki elektronların hareketlerinden söz ederseniz, ışığın hareketi etkilediğini söyleyebilirsiniz. Maksimumda gelen elektronlar ışık tarafından saptırılıp itilerek minimumda geliyorlar, ve bu nedenle eğriyi düzleştirerek $N_1 + N_2$ basit eğrisini veriyorlar.

Elektronlar çok hassastırlar. Bir beyzbol topuna ışık verirseniz, bu hiçbir şeyi değiştirmez; beyzbol topu aynı yönde gitmeye devam eder. Ama bir elektrona ışık yöneltirseniz, elektron biraz çarpılır ve normalde yapacağından başka bir şey yapar; çünkü ışığı açtınız ve ışık çok kuvvetli. Şimdi ışığı, ortam çok loş oluncaya kadar, yavaş yavaş zayıflatalım ve loş ışıkta görebilen hassas dedektörler koyup, bu ışıkta bakalım. Işık giderek zayıfladıkça, bu ölçüde zayıf bir ışığın, elektronları N_{12}’den $N_1 + N_2$’ye dönüşecek şekilde, yüzde yüz etkilemesini beklemezsiniz. Işık zayıfladıkça ortamın, giderek ışıksız hale gelmesi gerekir. Öyleyse bir eğri öbür eğriye nasıl dönüşüyor? Işık, kuşkusuz, su dalgasına benzemez. Işık aynı zamanda foton dediğimiz bir parçacık özelliği taşır. Işığın şiddetini azalttıkça kaynaktan çıkan foton sayısını azaltmış olursunuz. Bir elektronun çarpacağı foton sayısı en az bir’dir. Eğer çok az foton varsa, elektron bazen fotonun bulunmadığı bir sırada geçmiş olabilir; o zaman onu göremezsiniz. Demek oluyor ki çok zayıf bir ışık, çok küçük bir etkileme değil, daha az sayıda foton anlamına gelmektedir. Bu nedenle, çok zayıf bir ışık için “görülmeyen” başlığı altında üçüncü bir sütun açmam gerekiyor. Işık kuvvetli iken çok küçük bir kısmı, ışık çok sönük olduğunda da çoğunluk

bu sütunda olacaktır: Delik 1, Delik 2 ve görülmeyen. Ne olacağını tahmin edebilirsiniz. Görebildiklerim $N_1 + N_2$ eğrisine, görmediklerim N_{12} eğrisine göre dağılacaktır. Işığı zayıflattıkça gördüklerim giderek azalacak, görmediklerim de giderek artacaktır. Gerçek eğri her durumda iki eğrinin bir karışımıdır. Işık azaldıkça eğri giderek N_{12}'ye daha çok benzeyecektir.

Elektronun hangi delikten geçtiğini bulmak için önerebileceğimiz çeşitli yöntemlerin hepsini burada tartışmam olanaksız. Bununla beraber, geliş düzenlerini etkilemeden ve girişimi yok etmeden elektronların hangi delikten geçtiklerini anlayabileceğimiz bir şekilde ışığı ayarlamanın olanaksız olduğu ortaya çıkmaktadır. Sadece ışık için değil, başka herhangi bir şey için de, ne kullanırsanız kullanın, ilke olarak olanaksızdır. Eğer isterseniz, elektronun hangi delikten geçtiğini saptayacak birçok yöntem bulabilirsiniz. Her seferinde birinden veya öbüründen geçtiği ortaya çıkar. Ancak, yaptığınız cihazın elektronun hareketini etkilemesini de önlemek isterseniz, sonuçta daima elektronun hangi delikten geçtiğini bilmeyecek ve aynı karmaşık sonuca varacaksınız.

Heisenberg, kuantum mekaniği yasalarım bulduğu zaman, bir şeyin farkına vardı: Keşfettiği yasalar ancak deneme yetimize, daha önce fark etmediğimiz bazı temel sınırlamalar konulduğu zaman tutarlı oluyorlardı. Başka bir deyişle deneylerde istediğiniz ölçüde hassas olamazsınız. Heisenberg bir belirsizlik ilkesi öne sürdü. Bizim deneyimiz içeriğinde onu şöyle ifade edebiliriz (Kendisi farklı bir şekilde ifade etti. Ancak, ikisi tamamen denktir; birinden diğerine geçebilirsiniz): “Elektronun hangi delikten geçtiğini saptayan ve aynı zamanda elektronu girişim düzenini yok edecek ölçüde etkilemeyen bir cihaz yapmak olanaksızdır.” Hiç kimse bunu önleyecek bir yol bulamamıştır. Hepinizin elektronun hangi delikten geçtiğini saptayacak yöntemler keşfetmek için sabırsızlandığınızdan eminim; ancak, bunların her biri dikkatle incelendiğinde bir aksaklık olduğunu göreceksiniz. Elektronu etkilemeden bunu başarabileceğinizi düşünebilirsiniz; ama daima bir aksaklık ortaya çıkacaktır ve her zaman, eğrilerdeki farklılığa, elektronun hangi delikten geçtiğini saptayan cihazların yol açtığı ortaya çıkacaktır.

Bu, doğanın temel bir özelliğidir ve bize her şey için geçerli olan bir şey anlatır. Eğer yarın yeni bir parçacık, “kaon”, keşfedilirse -gerçekte kaon keşfedilmiştir; onu sırf bir isim vermek için kullandım- ve onun elektronla etkileşimini elektronun hangi delikten geçtiğini bulmak için kullanırsam, bu

yeni parçacığın davranışı hakkında, sanırım, önceden bildiğim bir şey vardır: Elektronun hangi delikten geçtiğini saptayabiliyorsam, onun bu işi elektronu etkilemeden, girişim olan bir düzenden girişim olmayan bir düzene değiştirmeden yapabilecek bir özelliğe sahip olamayacağı. Bu nedenle belirsizsizlik ilkesi bilinmeyen nesnelerin birçok özelliklerini önceden tahmin etmemizi sağlayan, genel bir ilke olarak kullanılabilir. Bu özellikler, benzer şekilde, sınırlıdırlar.

A önermesine dönelim. “Elektronlar ya bir delikten ya da öbüründen geçmeye zorunludurlar”.

Bu doğru mu, yoksa yanlış mı? Fizikçilerin, tuzağa düşmelerini önleyen bazı yöntemleri vardır. Düşünce kurallarını şu şekilde açıklarlar: Bir elektronun hangi delikten geçtiğini saptayabilen bir cihazınız varsa (ve böyle bir cihazınız *olabilir) o* zaman ya bir delikten ya diğerinden geçtiğini söyleyebilirsiniz; bu mümkündür. Baktığınızda her zaman ya bir delikten ya da öbüründen geçiyordur. Ancak, hangi delikten geçtiğini saptayacak bir cihazınız yoksa o zaman onun bu delikten ya da öbür delikten geçtiğini söyleyemezsiniz (bunu *söylemeniz* her zaman mümkündür; yeter ki düşünmeyi derhal kesin ve bundan hiçbir sonuç çıkarmayın. Fizikçiler şu anda susmayı düşünmemeye yeğliyorlar). Bakmadığınız zaman elektronun ya bu delikten, ya öbüründen geçtiğini söylemek hatalı bir öngörü olur. Doğayı yorumlamak istiyorsak üstünde cambaz gibi yürüyeceğimiz mantıksal ip budur.

Sözünü ettiğim bu önerme genel bir önermedir. Yalnızca iki delik için değil, aşağıdaki şekilde ifade edilebilecek olan bir önermedir. İdeal bir deneyde -yani, her şeyin olabildiğince kesin bir şekilde belirlendiği bir deneyde- herhangi bir olayın gerçekleşme olasılığı, bir şeyin karesidir. Örneğimizde bu, genliğin karesi olan, “a” dediğim şeydir. Bir olgu birkaç değişik şekilde ortaya çıkabiliyorsa, genlik olasılığı, yani bu “a” sayısı, her seçenek için bulunan “a”ların toplamıdır. Eğer bir deney, hangi seçeneğin kullanıldığını belirleyecek şekilde gerçekleşmişse, olgunun gerçekleşme olasılığı farklıdır; her seçeneğin olasılıkları toplamıdır. Yani, girişimi kaybedersiniz.

Şimdiki sorunumuz bunun gerçekte nasıl olduğudur. Bunu gerçekleştiren mekanizma nedir? Hiçkimse herhangi bir mekanizma bilmiyor. Hiçkimse size bu olgunun benim anlattıklarımdan daha derinlemesine bir açıklamasını, bir anlatımım yapamaz. Girişimi yok etmeden elektronun

hangi delikten geçtiğini saptamanın olanaksız olduğunu gösteren başka deneyler yaparak daha etraflı açıklamalarda bulunanlar, iki delikle girişim deneylerinden daha farklı deneylerden söz edenler çıkabilir. Ancak bunlar daha iyi kavramanız için yapılan tekrarlardan ibarettir. Daha derin değil, daha geniştirler. Matematik ifade daha kesin biçimlerde verilebilir; onların reel değil, karmaşık sayılar oldukları söylenebilir; veya ana fikirle ilgili olmayan başka birkaç nokta belirtilebilir. Ancak, derin gizem benim anlattığımdan başka bir şey değildir; henüz kimse daha derinlere inememiştir.

Buraya kadar bir elektronun gelme olasılığım hesapladık. Şimdi soru belirli bir elektronun gerçekten nereden geldiğini bulabileceğimiz bir yol olup olmadığıdır. Durum çok karmaşık bir hal aldığında olasılık teorisi kullanmaya, yani olasılıkları hesaplamaya karşı değiliz. Havaya bir zar atıyoruz; çeşitli dirençler, atomlar, bütün karmaşık işler karşısında belirli bir tahmin yapmak için yeterli ayrıntıyı bilmediğimizi kabul ediyoruz; bu nedenle de, onun şu yolla veya bu yolla gelme olasılığını hesaplıyoruz. Burada öne sürdüğümüz şey, en derinlerde de olasılık bulunduğu, fiziğin temel yasalarında beklenmeyen şeyler olduğudur.

Işık söndürüldüğünde girişimin elde edileceği bir deney düzenlediğimi varsayalım. Sonra, ışık olduğu zaman bile elektronun hangi delikten geçtiğini bilemeyeceğimi söylüyorum. Bildiğim tek şey, ya bu deliğe ya da öbürüne baktığım. Hangi delikten geçeceğim önceden bilmemi sağlayan bir yol yok. Sözün kısası, gelecek tahmin edilemez. Elde olan herhangi bir bilgiyi kullanarak elektronun hangi delikten geçeceğini veya hangi delikte görüleceğini herhangi bir şekilde bilmek olanaksızdır. Bunun bir anlamı da şudur: Fizikçinin başlangıçtaki amacı -herkesin varsaydığı gibi— belirli koşullar altında daha sonra ne olacağını tahmin edebilmek için yeterli bilgiye sahip olmak idiyse, artık bundan vazgeçmiş gibidir. İşte koşullar: elektron kaynağı, güçlü ışık kaynağı, iki deliği olan tungsten levha. Şimdi bana elektronu hangi deliğin arkasında göreceğimi söyleyebilir misiniz? Bir teoriye göre, elektronun hangi delikten geçeceğinin bilinememe nedeni, bunun daha önceden, kaynaktaki bazı karmaşık şeylerle önceden belirlenmiş olması, hangi delikten geçeceğine karar veren iç çarklar, iç vitesler bulunmasıdır. Olasılık yarı yarıyadır; tıpkı bir zar gibi rastgele düşer. Fizik henüz tamamlanmış değildir; yeterince eksiksiz bir duruma geldiğinde hangi delikten geçeceğini tahmin edebileceğiz. Buna “gizli

değişkenler teorisi” deniliyor. Bu teori doğru olamaz; tahmin yapamama nedenimiz ayrıntılı bilgi eksikliğinden ileri gelmiyor.

Işığı yakmazsam girişimi elde edeceğimi söyledim. Bu girişim olgusunu elde ettiğim koşul var ise, onu Delik 1 ve Delik 2’den geçme bağlamında değerlendirmem olanaksızdır; çünkü bu girişim eğrisi çok basit ve diğer iki olasılık eğrisinin katkısı göz önüne alındığında matematiksel olarak çok farklıdır. Eğer ışık yanarken bir elektronun hangi delikten geçeceğini saptama olanağımız olsaydı, o zaman ışığın yanıp yanmaması bir fark yaratmazdı. Kaynakta varolan, gördüğümüz, ve bize onun Delik 1 veya Delik 2’den geçeceğini söylememize olanak veren çarkları ışık yokken de gözleyebilirdik; böylece de ışık yokken elektronun hangi delikten geçtiğini söyleyebilirdik. Bunu yapabilseydik elde edeceğimiz eğri Delik 1’den ve Delik 2’den geçenlerin toplamı olarak ifade edilebilirdi; ama edilemiyor. Demek ki ışık açık olsun olmasın, deneyin ışıksız ortamda girişim oluşturacak şekilde düzenlendiği herhangi bir durumda, elektronun hangi delikten geçeceğine dair önceden bilgi sahibi olmak olanaksız olmalıdır. Doğanın yapısında olasılık varmış gibi görünmesi bizim iç çarklar, iç karışıklıklar konusundaki bilgisizliğimizden kaynaklanmıyor. Bu sanki doğanın iç yapısında varolan bir şey. Birisi bunu şöyle ifade etmişti: “elektronun ne yönde gideceğini doğanın kendisi bile bilmiyor.”

Bir zamanlar bir filozof “Bilimin varolabilmesi için benzer koşulların benzer sonuçlara yol açması gereklidir,” demişti. İyi ama yol açmıyorlar. Her seferinde aynı koşullarla durumu belirliyorsunuz ve elektronu hangi delik arkasında göreceğinizi kestiremiyorsunuz. Ancak benzer koşulların her zaman benzer sonuçlar vermemesine karşın, bilim varlığını sürdürüyor. Ne olacağını önceden tam olarak bilememek bizi mutsuz yapıyor. İnsanın bilmesinin zorunlu olduğu çok tehlikeli ve ciddi durumlar olabilir; ama yine de bunları önceden bilemiyorsunuz. Örneğin bir fotoelektrik pil ve tek bir elektronun geçebileceği bir düzen kurabiliriz -kurmasak daha iyi olur, ama kurabiliriz. Eğer elektronu Delik 1’in arkasından görürsek atom bombasını harekete geçirip III. Dünya Savaşı’nı başlatabiliriz. Ama eğer onu Delik 2’nin arkasında görürsek barış antenleri çıkıp savaşı bir süre erteleyecektir. O zaman, bilim ne denli ilerlese de, insanın geleceği, önceden kestiremeyeceği bir şeye bağımlı olacaktır. Gelecek önceden bilinemez.

“Bilimin varolması için” gerekli olan şeyler, doğanın özellikleri, tantanalı ön-koşullarla belirlenmezler; onlar, daima, üstünde çalıştığımız maddeyle,

doğanın bizzat kendisiyle belirlenirler. Bakarız, ve ne bulduğumuzu görürüz. Ama ne olacağını önceden isabetle söyleyemeyiz. Akla en uygun olanaklar çoğunlukla doğru çıkmazlar. Bilim ilerleyecekse, gerekli olan şey deney yapmak, sonuçları dürüstçe açıklamak -sonuçlar, birisi onların nasıl olmalarını arzu ettiğini söylemeden önce açıklanmalıdır- ve son olarak da sonuçları yorumlayacak zekaya sahip olmaktır. Bu zeka konusunda önemli olan bir nokta, sonuçların ne olması gerektiği hakkında önceden çok güvenli olmamaktır. Önyargılı olunabilir ve "bu olamaz, bunu beğenmedim," denebilir. Önyargılı olmak kesin olarak emin olmaktan farklıdır. Kesin önyargılı olmayı değil; yalnızca eğilimi kastediyorum. Sadece eğiliminiz varsa fark etmez; çünkü, eğiliminiz yanlışsa art arda gelen deney sonuçları durmadan canınızı sıkar ve sonunda onları artık göz ardı edemezsiniz. Ancak önceden bilimin sahip olması gereken bir önkoşuldan çok kesin olarak emin iseniz sonuçları göz ardı edebilirsiniz. Gerçekte bilimin varolabilmesi için bizim filozofumuzunki gibi doğaya yerine getirmesi gereken ön koşullar ileri sürmeyen beyinlere gerek vardır.

Yeni Yasalar Arayışı

Bu derste anlatmak istediğim konu tam olarak fizik yasalarının niteliği değildir. Fizik yasalarının niteliğinden söz ederken hiç olmazsa doğa hakkında konuşulduğu varsayılır. Ancak ben doğa üzerine değil, doğaya göre nerede olduğumuz üzerine konuşmak istiyorum. Size, neler bildiğimizi sandığımızdan, nelerin tahmin edilecek şeyler olduğundan ve bu tahminlerin nasıl yapıldığından söz etmek istiyorum. Bana bir yasanın nasıl tahmin edildiğini yavaş yavaş anlatmamın, sonra da sizler için yeni bir yasa keşfetmemin ideal bir yöntem olacağı önerildi. Bunu yapabilir miyim, bilmiyorum.

Size önce şu andaki durumun ne olduğunu, fizik hakkında neler bildiğimizi anlatacağım. Bu dersler sırasında size zaten her şeyi anlatmış olduğumu düşünebilirsiniz; çünkü size bilinen bütün büyük ilkeleri anlatmış

bulunuyorum. Ancak ilkeler *bir şeyler* hakkında ilkeler olmalıdır. Enerjinin korunumu ilkesi *bir şeyin* enerjisi hakkındadır; kuantum mekaniği yasaları *bir şey* hakkındaki kuantum yasalarıdır; ama bütün bu ilkeler bir arada ele alındığında söz ettiğimiz doğanın içeriği hakkında bir şey söylemiyorlar. Ben şimdi size bütün bu ilkelerin geçerli olduğu varsayılan şey hakkında konuşacağım.

İlk olarak, madde denen bir 'şey' vardır ve tüm maddenin aynı olması ilginçtir. Yıldızları oluşturan maddenin Dünya'yı oluşturanla aynı olduğu bilinmektedir. Bu yıldızların yaydığı ışığın niteliği, oralarda da dünyadakine benzer atomların olduğunu söylememize olanak veren bir tür parmak izidir. Canlılarda da cansızlardakilerle aynı türden olan atomlar olduğu görülüyor. Kurbağalar taşlarla aynı “grup” atomlardan yapılmışlardır; ancak düzenlemeler farklıdır. Bu durum problemimizi kolaylaştırıyor; her yerde birbirine benzeyen atomlardan başka bir şey bulunmuyor.

Atomların hepsinin aynı genel yapıya sahip oldukları anlaşılıyor. Bir çekirdekleri, çekirdeğin çevresinde de elektronlar var. Bildiğimizi varsaydığımız Dünya’nın parçalarının bir listesini yapabiliriz (Şekil 32).

elektronlar	nötronlar
fotonlar	protonlar
gravitonlar	
nötrinolar	

+ karşı - parçacıklar

Şekil 32

Öncelikle atomun dış kısmında bulunan elektron dediğimiz parçacıklar var. Sonra da çekirdekler; ancak, günümüzde bunların da nötron ve proton denilen iki değişik parçacıktan oluştuğu anlaşılmıştır. Yıldızları görüyorsunuz, atomları görüyorsunuz ve bunlar ışık yayıyorlar. Işığın kendisi de foton denilen parçacıklarla tanımlanıyor. Başlarda yerçekimi hakkında konuştuk; eğer kuantum teorisi doğru ise yerçekiminde de parçacık gibi davranan bir tür dalga olması gerekir; bu parçacıklara graviton diyoruz. Eğer buna inanmıyorsanız yerçekimi deyip geçebilirsiniz. Son olarak da beta-bozunması dediğimiz bir şeyden söz ettim. Burada nötronlar bir proton, bir elektron ve bir nötrinoya (daha doğrusu karşı-nötrinoya, çünkü nötrino denilen başka bir parçacık var) ayrışıyor. Listede sıraladığım

bütün parçacıkların birer de karşı-parçacıkları var. Bu kısa anlatımla parçacık sayısını iki katına çıkarmayı önlemiş oluyoruz; bunda da bir karışıklık yoktur.

Bilebildiğimiz kadarıyla, evrenin her yerinde gerçekleşen düşük enerjili olgular, yani bütün normal olgular, sıraladığım bu parçacıklarla açıklanabiliyor. Orada burada yüksek Enerji parçacıklarının yol açtığı bazı istisnalar var, laboratuvarda da bazı "garip" şeyler yapmayı başardık. Bu özel durumları saymazsak, bildiğimiz bütün olaylar bu parçacıkların etkileri ve hareketleri ile açıklanabilir. Örneğin, hayatın kendisinin atomların hareketleri ile açıklanabildiği, ilke olarak varsaydır; bu atomlar da nötron, proton ve elektronlardan oluşmuştur. Hemen şunu eklemem gerekir ki "ilke olarak" dediğim zaman kast ettiğim şudur: her şeyi anlayabilirsek hayat olgusunu anlamamız için fizikte keşfetmemiz gereken yeni bir şeye gereksinim olmadığı kanısındayız. Bir başka örnek de yıldızların enerji yaymasının (yıldız veya güneş enerjisi) parçacıkların nükleer reaksiyonları yoluyla açıklanabileceği varsayımıdır. Bugün bilebildiğimiz kadarıyla, atomların davranış biçimleriyle ilgili her türlü ayrıntı bu atom modeliyle kesin bir şekilde açıklanabilmektedir. Hatta şunu söyleyebilirim: Bugün bildiğimiz bütün olgular arasında bu yolla açıklanamayacağından emin olduğumuz veya derin bir sır içeren hiç bir olay olmadığını sanıyorum.

Bu her zaman mümkün olmadı. Örneğin süper-iletkenlik denilen, metallerin düşük ısılarda elektriği hiçbir direnç göstermeden geçirdikleri anlamında bir olay vardır. Bunun bilinen yasaların bir sonucu olduğu daha önceleri bilinmiyordu. Ancak şimdi, yeterince dikkatli düşünüldüğünde, bunun bugünkü bilgilerimizle tam olarak açıklanabileceği anlaşılmıştır. Fizik bilgimizle açıklanamayan, varlığından da tam emin olmadığımız duyum dışı algılama (altıncı his) gibi başka olaylar da vardır. Ancak, bunların varolduğu gösterilebilirse fiziğin de tamamlanmış olmadığı kanıtlanmış olur; bu nedenle de, varolup olmadıkları fizikçiler için çok önemlidir. Varolmadıkların] gösteren birçok deney yapılmıştır. Astrolojik etkiler de aynı durumdadır. Dişçiye gitmek için en elverişli olan günü yıldızların etkileyebildiği doğru ise -Amerika'da bu tür bir astroloji kullanımı var- fiziğin teorisinin de yanlış olduğu kanıtlanmış olur. Çünkü ilke olarak parçacıkların davranışları ile bunu sağladığı bilinen bir mekanizma yoktur. Bilimciler arasında bu tür düşüncelere karşı kuşku duyulmasının nedeni de budur.

Buna karşın, hipnotizmanın tam olarak anlaşılmadığı ilk zamanlarda, onun da imkansız olduğu düşünülüyordu. Şimdi daha iyi anlaşıldığı için, hipnotizmanın, henüz bilinmeyen ancak normal olan fizyolojik bir süreçten kaynaklanmasının olanaksız olmadığı fark edilmiştir; göründüğü kadarıyla özel bir kuvvet gerektirmemektedir.

Günümüzde, atom çekirdeğinin dışında olan bitenleri açıklayan teorilerimiz yeterince eksiksiz ve kesindir. Yani yeterince zaman verildiğinde her şey, ölçülebildiği hassasiyet derecesindeki bir kesinlikle hesaplanabilir. Ancak, çekirdeği oluşturan nötronlar ve protonlar arasındaki kuvvetler bu ölçüde tam olarak bilinmiyorlar, pek de iyi anlaşılmıyorlar. Bunu şu anlamda söylüyorum: Bugün (yeterince zaman ve bilgisayara sahip olsak bile), nötronlar ve protonlar arasındaki kuvvetleri, karbonların Enerji düzeylerini veya benzer şeyleri hesaplayabilecek kadar iyi anlamıyoruz; bildiklerimiz yeterli değil. Bu hesapları atomun dışındaki elektronların Enerji düzeyleri için yapabildiğimiz halde, nükleer kuvvetler henüz iyice anlaşılmadığından çekirdek için yapamıyoruz.

Bu konuda daha fazla bilgi edinmek için deneyciler çok yüksek Enerjilerde onları incelemeye yönelmişler, enerji düzeyleri çok yüksek olan proton ve nötronları çarpıştırarak bazı tuhaf sonuçlar elde etmişlerdir. Bunları inceleyerek nötron ve proton arasındaki kuvvetleri daha iyi anlayacağımıza inanıyoruz. Bu deneylerle Pandora'nın[26] kutusu açılmıştır! Gerçekte amaçladığımız, yalnızca nötron ve protonlar arasındaki kuvvetler hakkında daha fazla bilgi edinmekti. Ancak, bu parçacıklar çarpıştığında dünyada başka parçacıkların da varolduğunu keşfettik. Bu kuvvetleri anlamaya çalışırken dört düzineden fazla yeni parçacık da ortaya çıktı. Bu farklı dört düzineyi nötron/proton sütununa ekleyeceğiz (Şekil 33); çünkü onlar da nötron ve protonlarla etkileşiyorlar ve onların aralarındaki kuvvetlerle de ilişkileri var. Bundan başka, bu koca bataklığı tararken nükleer kuvvetlerle ilgisi olmayan iki şey daha bulduk.

elektronlar	nötronlar
fotonlar	protonlar
gravitonlar	(+ sayıları dört düzineyi
mu-mezonlar (muonlar)	geçen başkaları)
mu-nötrinolar	

+ bütün karşı-parçacıklar

Şekil 33

Bunlardan biri mu-mezon veya muon, diğeri de ona eşlik eden nötrino'dur. Biri elektronla, diğeri de mu-mezonla ilişkili olan iki türlü nötrino vardır. Muon ve onun nötrinosuyla ilgili bütün yasaların bulunmuş olması çok ilginçtir. Deneysel olarak anlayabildiğimiz kadarıyla yasa şu şekildedir: Muon ve nötrinosu, elektron ve onun nötrinosuyla tamamen aynı şekilde davranır; ancak aralarındaki tek fark mu-mezonun, elektronun 207 katı ağırlıkta olmasıdır. Bu iki nesne arasındaki tek farkın bu olması biraz tuhaf. Dört düzine yeni parçacık ve onların karşı parçacıkları korkutucu bir Üste oluşturuyor. Bunların çeşitli isimleri var; mezonlar, pionlar, kaonlar, lambda, sigma... Ancak, bu parçacıkların gruplar oluşturmaları bir ölçüde kolaylık sağlıyor. Gerçekte bu parçacıkların bazıları o kadar kısa ömürlü oluyorlar ki gerçekten var sayılıp sayılamayacakları konusunda tartışmalar yapılıyor. Bu tartışmalara girmeyeceğim.

Bu gruplaşma konusunu göstermek için nötron ve protonu ele alacağım. Nötron ve protonun kütleleri, yüzde birin onda biri yaklaşıklıkla, aynıdır. Birisi elektronun 1.836, diğeri de 1.839 katı ağırlığındadır. Nükleer kuvvetler konusunda daha da ilginç olan şey, çekirdek içindeki güçlü kuvvetler bakımından iki proton arasındaki kuvvetin, bir protonla bir nötron arasındaki kuvvetle aynı olması; ve bir nötronla bir nötron arasındaki kuvvetin de aynı olmasıdır. Başka bir deyişle, çekirdek içi güçlü kuvvetler bakımından proton ile nötronu ayırt edemezsiniz. Bu bir simetri yasası oluyor. Protonlar yerine nötronların konulması, herhangi bir farklılığa neden olmaz (eğer söz konusu olan güçlü kuvvetlerse). Ama bir nötron yerine bir proton koyarsanız çok büyük bir fark olur; çünkü protonda elektrik yükü vardır, nötronda yoktur. Bir proton ile bir nötron arasındaki farkı elektrik ölçümlerinde hemen görürsünüz. Bu nedenle, bir şeyi başka

bir şeyle değiştirme anlamındaki simetri, “yaklaşık simetri” dediğimiz şeydir. Bu, nükleer kuvvetlerin güçlü karşılıklı etkileşimi için doğrudur, ama elektrik için geçerli olmaması nedeniyle doğadaki derin anlam bağlamında doğru değildir. Buna kısmi simetri denilmektedir ve biz de bu kısmi simetrilerle uğraşmak zorundayız.

Parçacık grupları çoğaldığına göre, proton yerine nötron konulması şeklindeki yer değiştirme işlemleri başka parçacıklar arasında da yapılabilir. Ancak, doğruluk derecesi daha da azalır. Protonların her zaman nötronlar yerine geçebileceği ifadesi yaklaşık bir ifadedir -elektrik için doğru değildir. Mümkün olduğunu gördüğümüz bu daha geniş çerçevedeki yer değiştirmeler daha da zayıf bir simetri gösterirler. Ancak yine de bu kısmi simetriler parçacıkların gruplandırılmasında, böylece de eksik parçacıkların yerinin belirlenmesinde ve yeni parçacıkların bulunmasında yardımcı olmuştur.

Gruplar arasındaki ilişkileri kabaca tahmin etme şeklindeki bu tür oyunlar, insanın gerçekten önemli ve derin bir temel yasa bulmadan önce doğa ile yaptığı ısınma hareketleridir. Bilimin geçmişinde bunun çok önemli örnekleri vardır. Örneğin, Mendeleev’in[27] elementlerin periyodik tablosunu keşfetmesi bu oyuna benzer. Bu ilk adımdır; atomik tablonun nedeninin tam bir şekilde açıklanması çok daha sonra, atom teorisi ile beraber yapılabildi. Aynı şekilde, çekirdek içi enerji düzeyleri konusunda bildiklerimiz, Maria Mayer ve Jensen[28] tarafından çekirdeğin kabuk modeli adını verdikleri model yoluyla yerine oturmuştur. Fizik, yaklaşık tahminler yaparak karmaşıklığın azalmasını amaçlayan bir benzetme oyunudur.

Bu parçacıklara ek olarak, daha önce sözünü ettiğimiz bütün ilkelerin; simetri, görecelik ve nesnelerin kuantum mekaniğine göre davranma zorunluluğu ve bunu görecelikle birleştirince ortaya çıkan bütün korunum yasalarının yerel olmaları zorunluluğu vardır.

Bütün bu ilkeleri göz önüne aldığımızda sayılarının pek çok olduğunu ve birbirleriyle tutarsız olduklarını görüyoruz. Eğer kuantum mekaniğini, göreceliği, her şeyin yerel olması gerektiği önermesini, ayrıca da dile getirilmemiş bazı varsayımları ele alırsak tutarsızlık ortaya çıkıyor. Çünkü çeşitli şeyleri hesapladığımızda “sonsuz”u elde ediyoruz; sonsuzu elde edince de bunun doğayla uyumlu olduğunu nasıl söyleyebiliriz? Aşın önyargı nedeniyle gerçek önemini kavrayamadığımız, sözünü ettiğim ve

açıkça ifade edilmemiş olan varsayımlara bir örnek şöyle bir önermedir: Her olanak için olasılığı hesaplarsanız, örneğin bunun olması % 50, şunun olması % 25 gibi, bunların toplamı 1 olmalıdır. Bütün seçenekleri toplarsanız %100 olasılık elde etmeniz gerektiğini düşünürüz. Bu, akla uygun geliyor. Ancak güçlükler daima akla uygun gelen şeylerden kaynaklanır. Bu tür bir başka önerme de bir şeydeki Enerjinin her zaman pozitif olduğu, negatif olamayacağıdır. Yine bir başka önerme ise, belki de tutarsızlık ortaya çıkmadan önce eklenmiş olan 'nedensellik', yani etkilerin onların nedenlerinden önce gelemeyeceği şeklindeki düşüncedir. Gerçekte hiç kimse, olasılık hakkındaki önermeyi veya nedenselliği dikkate almayan; kuantum mekaniği, görecelik, yerel olma, vb. ilkeler ile tutarlı olan bir model ortaya koymuş değildir. Bu nedenle, sonsuzu elde etmekle meydana gelen güçlüğün hangi varsayımımızdan kaynaklandığını bilmiyoruz. Güzel bir problem! Buna karşın, el çabukluğuyla sonsuzları halının altına süpürüp, bir süre daha hesaplamaya devam edebileceğimizi biliyoruz.

Pekala, şimdilerde durum bu. Şimdi yeni bir yasayı nasıl arayacağımız konusunu ele alacağım.

Yeni bir yasa bulmak için genellikle şu yöntemi kullanırız: Önce bir tahminde bulunuruz. Sonra, eğer tahmin ettiğimiz yasa doğru ise ondan çıkarılacak sonuçların neler olabileceğini hesaplarız. Daha sonra da, deney veya deneyimlerimiz yardımıyla, bu sonuçların doğada doğru olup olmadığını, doğrudan gözlem yoluyla araştırırız. Eğer deneylere ters düşüyorlarsa yanlıştırlar. Bu basit ifade bilimin anahtarıdır. Tahmininizin çok güzel olması, sizin çok zeki olmanız, kimin yaptığı ve adının ne olduğu hiç fark etmez; deney, eğer tahmin sonuçları deneye ters düşüyorsa yanlıştır; işte o kadar! Yanlış olduğundan emin olmak için biraz daha kontrol gereklidir. Çünkü, deneyi yapan sonuçları yanlış aktarmış olabilir veya deneyde dikkate alınmayan, örneğin kirlilik gibi bir şey varolabilir; ya da, hesaplamaları yapan kişi, bu tahmini yapanla aynı kişi de olsa, değerlendirmede bir hata yapmış olabilir. Bunlar aşikar şeyler. O nedenle ben deneyle ters düşerse yanlıştır derken, deneyin kontrol edildiğini, hesapların kontrol edildiğini ve beklenen sonuçların gerçekten de tahmin yürütülen şeyin mantıksal sonucu olduğunun defalarca gözden geçirildiğini ve bunun dikkatle kontrol edilmiş bir deney sonucuyla ters düştüğünü kastediyorum.

Bu anlattıklarım size bilim konusunda bazı yanlış izlenimler verebilir. Olanaklar hakkında durmadan tahminler yapıp bunları deneylerle karşılaştırmak, deneylerin biraz aşağı bir konumda olduğunu akla getirebilir. Gerçekte deneycilerin kendilerine özgü bir nitelikleri vardır; hiç kimsenin tahmin yürütmemiş olduğu bir konuda bile deney yapmaktan hoşlanırlar. Çoğunlukla da teorisyenlerin tahmin yapmadıklarının bilindiği alanlarda deneyler yaparlar. Örneğin, birçok yasamız var; ama bunların yüksek Enerji durumunda geçerli olup olmadıklarını bilmiyoruz. Bunların o durumda da geçerli oldukları, yalnızca bir tahminden ibarettir. Deneyciler yüksek enerji düzeylerinde deneyler yaptılar. Arada sırada deneyler bazı sıkıntılara yol açarlar; yani, doğru sandığımız bir şeyin yanlış olduğunu ortaya koyarlar. Böylece bir deney beklenmedik sonuçlar verebilir; bu da bizi yeniden tahmin yürütmeye götürür. Böyle beklenmedik sonuçlara bir örnek mu-mezon ve onun nötrinosudur. Keşfedilmeden önce kimse onun varlığına ilişkin bir tahmin yapmamıştı. Bugün bile, bunun neyin doğal sonucu olduğunu saptayacak bir tahmin yöntemi yoktur.

Gördüğünüz gibi bu yöntemle herhangi belirli bir teorinin yanlış olduğunu kanıtlamayı düşünebiliriz. Belli bir teorimiz, gerçek bir tahminimiz varsa ve bundan deneylerle değerlendirilmesi mümkün olan sonuçlar çıkarılabiliyorsa o zaman, ilke olarak bütün teorileri sınama olanağımız vardır. Belirli bir teorinin yanlış olduğunu kanıtlama olanağı her zaman vardır; ancak dikkat edin, doğru olduğunu hiçbir zaman kanıtlayanlayız. İyi bir tahmin yaptığınızı, sonuçları hesapladığınızı, ve hesapladığınız sonuçların her seferinde deneyle uyumlu olduğunu varsayalım. Öyleyse teori doğru mudur? Hayır; sadece yanlış olduğu kanıtlanmamıştır. Sonradan daha kapsamlı sonuçlar hesapladığınızda, daha geniş kapsamlı deneyler gerekebilir ve o zaman onun yanlış olduğunu fark edebilirsiniz. Gezegenlerin hareketleriyle ilgili Newton yasalarının bu kadar uzun süre geçerli kalmalarının nedeni budur. Newton yerçekimi yasasını ‘tahmin etti’, bu sistem içinde bir sürü sonuç hesapladı, bunları deneylerle karşılaştırdı. Merkür gezegeninin hareketindeki ufak bir hatanın ortaya çıkması ise yüzyıllar aldı. Bütün bu süre zarfında, teorinin yanlış olduğu kanıtlanamadığı için, geçici olarak, doğru kabul edilebildi. Ancak, doğruluğu hiçbir zaman kanıtlanamadı. Çünkü yarının deneyleri, doğru olarak kabul ettiğimiz şeyin yanlış olduğunu kanıtlayabilir. Hiçbir zaman kesin olarak haklı olamayız; yalnız hatamızdan kesinlikle emin olabiliriz.

Ama yine de bu kadar uzun süre dayanabilen fikirlerimizin varolabilmesi dikkate değer.

Bilimin önünü kesme yöntemlerinden birisi de deneyleri yalnız yasaların doğru olduğunu bildiğimiz alanlarda yapmaktır. Ancak, deneyciler en büyük gayret ve çalışmayı, teorilerin yanlış olduğu beklentisinin en güçlü olduğu alanlarda gösterirler. Başka bir deyişle, kendi yanlışımızı mümkün olan en kısa sürede kanıtlamaya çalışırız. Çünkü ilerleme ancak bu şekilde olanaklıdır. Örneğin, günümüzde normal düşük Enerji olguları için yanlışı nerede arayacağımızı bilmiyor, her şeyin yerli yerinde olduğunu düşünüyoruz. Bu nedenle de nükleer etkileşim ve süper iletkenlik konularında aksaklıklar bulmaya yönelik özel büyük projeler yok. Bu konuşmalarda temel yasaların keşfi üzerinde yoğunlukla duruyorum. Süper iletkenlik ve nükleer etkileşim olaylarının bir başka düzeyde, temel yasalar yoluyla anlaşılması da fiziğin kapsadığı ilginç konular arasındadır. Ancak şimdi üstünde durduğum konu aksaklıkların keşfedilmesi, temel yasalardaki yanlışların açığa çıkarılmasıdır. Düşük Enerji olguları alanında hiç kimse neyi araştıracağını bilmediğinden, yeni yasalar keşfetmek için bugün yapılan bütün deneyler yüksek Enerji deneyleridir.

Dikkatinizi çekmem gereken bir başka nokta da açık ve berrak olmayan bir teorinin yanlış olduğunun kanıtlanamayacağıdır. Eğer yaptığınız tahmin iyi ifade edilmemiş, berraklıktan uzak ise sonuçlarını bulmak için kullandığınız yöntem de açık ve berrak olmayacaktır. Emin değilsiniz ve “Her şeyin doğru olduğunu sanıyorum; çünkü bu ve bu, veya şu ve şundan dolayı, aşağı yukarı böyle oluyor; bunun nasıl çalıştığım biraz açıklayabilirim...” gibi bir şeyler söylersiniz. Bunun iyi bir teori olduğunu düşünürsünüz; çünkü yanlış olduğu kanıtlanamıyor. Ayrıca, eğer sonuçların hesaplanma süreci de belirsiz ise, biraz beceri kullanarak herhangi deneysel bir sonuç, beklenen sonuca benzer şekle dönüştürülebilir. Bu tür bir şeye başka alanlarda rastlamış olabilirsiniz. “A” annesinden nefret etmektedir. Bunun nedeni, kuşkusuz, annesinin onu çocukluğunda yeterince sevip okşamamış olmasıdır. Araştırırsanız, gerçekte annesinin onu çok sevmiş olduğunu, her şeyin yolunda gitmiş olduğunu görürsünüz. Demek ki neden, annenin onu çocukken fazla şımartmış olmasıdır! Belirsiz bir teori ile iki sonuca da varmak olasıdır. Bunun çaresi de şudur: Ne kadar sevginin yersiz ne kadar sevginin de aşın olduğunu önceden kesinlikle belirlemek eğer mümkün olsaydı, o zaman sınamak için deneyler yapabileceğimiz geçerli bir teori var olurdu. Böyle bir görüş ileri sürüldüğünde genellikle

“Psikolojik konularda sorunlar kesin bir şekilde belirlenemez,” denir. Evet, ancak o zaman da o konuda bir şeyler bildiğinizi ileri süremezsiniz.

Fizikte de aynen bu tür örneklerin varolduğunu duymak sizi dehşete düşürecektir. Aşağı yukarı bu şekilde işleyen simetrilerimiz vardır. Yaklaşık bir simetrimiz var; siz de onun kusursuz olduğunu varsayarak bir dizi sonuç hesaplıyorsunuz. Deneylerle karşılaştırdığınızda bütünüyle uyuşma sağlanamıyor. Bekleyebileceğiniz simetri yaklaşıktır. O nedenle, eğer uyum iyi ise “Güzel!” dersiniz. Uyum çok zayıfsa “Bu şey, simetri eksikliğine özellikle duyarlı olsa gerek,” dersiniz. Şimdi gülebilirsiniz; ancak, ilerlemeyi bu şekilde gerçekleştirmek zorundayız. Eğer bir konu yeni ise, bu parçacıklar bizim için yeni ise, sonuçları tahmin için onu bunu “yoklayarak” ortalıkta dolaşmak bütün bilimlerde ilk adımdır. Psikoloji için doğru olan, fizikteki simetri yasaları için de geçerlidir; onun için çok fazla gülmeyin. Başlangıçta çok dikkatli olmak gerekir. Böyle belirsiz bir teori ile havuzun derin tarafına düşmek kolaydır. Yanlış olduğunu kanıtlamak zordur ve tramplenden düşmemek belirli bir beceri ve deneyim gerektirir.

Tahmin yürütme, sonuçları hesaplama ve deneysel verilerle karşılaştırmaktan oluşan bu süreçte, bazı aşamalarda, olduğumuz yerde saplanıp kalabiliriz. Eğer hiç düşünce üretemezsek tahmin aşamasında çakılırız; hesaplama sırasında da öyle olur. Örneğin, Yukawa[29] 1934’de çekirdek içi kuvvetler konusunda bir tahminde bulundu. Ancak, matematiği çok zor olduğundan, kimse sonuçlarını hesaplayamadı. Bu yüzden de ileri sürdüğü şeyleri deneysel sonuçlarla karşılaştırmak mümkün olmadı. Bu teoriler uzun süre, Yukawa’nın hesaba katmadığı bütün o parçacıklar keşf edilenceye kadar bekledi ve işlerin Yukawa’nın düşündüğü kadar basit olmadığı ortaya çıktı. Çıkmaza girebileceğiniz bir başka nokta da deneysel yöndür. Örneğin, yerçekiminin kuantum teorisi, eğer bir ilerleme kaydediyorsa bile, bunu çok ağır gerçekleştiriyor. Çünkü yapabileceğiniz deneylerin hiçbiri hem kuantum fiziğini hem de yerçekimini bir arada içermiyor. Yerçekimi kuvveti elektrik kuvvetinden çok daha zayıftır.

Ben, bir teorik fizikçi olduğum ve problemin bu yönünü daha zevkli bulduğum için, şimdi, tahminlerin nasıl yapıldığı konusuna ağırlık vermek istiyorum.

Daha önce belirttiğim gibi, tahminin nereden kaynaklandığı hiç önemli değildir; önemli olan, onun deneyle uyum sağlaması ve olabildiğince kesinlik taşımasıdır. Şöyle diyeceksiniz: “Öyleyse işimiz çok kolay. Büyük

bir hesap makinası alalım; içinde art arda tahminler yapan herhangi bir disk olsun. Makina doğanın nasıl işlediği konusunda bir hipotez tahmin ettiği her durumda sonuçlarını da hemen hesaplasın ve diğer uçtaki deneysel sonuçlar listesiyle karşılaştırsın.” Buna göre, tahmin yürütmek aptal kişilere özgü bir iştir. Ama aslında gerçek bunun tam tersidir. Nedenini açıklayayım.

İlk sorun işe nasıl başlanacağıdır. “Bilinen ilkelerle başlarım,” diyeceksiniz. Ama bilinen ilkelerin hepsi birbirleriyle tutarsızdırlar; bu nedenle de bazılarının dışlanması gerekir. Tahminlerimizde boşluklar bırakmamız gerektiğini vurgulayan birçok mektup almaktayız. Çünkü, yeni tahminlere yer açmak için boşluklar bırakmak gerekiyor. Birisi bize şöyle söylüyor: “Biliyorsunuz, siz her zaman uzayın sürekli olduğunu ifade edersiniz. Yeterince küçük bir boyutu ele aldığınızda arada yeterince nokta olduğunu, küçük aralıklarla ayrılmış bir sürü nokta olmadığını nereden biliyorsunuz?” Veya şöyle diyorlar: “Sözünü ettiğiniz şu kuantum mekaniği genlikleri ne kadar karmaşık ve saçma. Doğru olduklarım nereden biliyorsunuz? Belki de doğru değiller.” Bu tür sözler bu problemle ilgilenen herkes için bilinen şeyler. Buna tekrar dikkat çekmenin bir yararı yoktur. Sorun yalnız neyin doğru olamayacağı değil, onun yerine, kesinkes, neyin konulabileceğidir. Uzayın sürekliliği konusunda doğru önermenin uzayın bir seri noktadan oluştuğu, aralarındaki boşlukların bir önem taşımadığı, ve noktaların kübik bir şekilde sıralandıkları yolunda olduğunu varsayalım. Bunun yanlışlığını hemen kanıtlayabiliriz. Sorun sadece bir şeyin yanlış olabileceğini belirtmek değil, onun yerine bir başka şey koymaktır; bu ise o kadar kolay değildir. Yerine gerçekten belirli bir şey koyar koymaz, onun işe yaramadığı neredeyse hemen ortaya çıkmaktadır.

İkinci bir güçlük de bu basit türden sonsuz sayıda olanağın varolmasıdır. Şuna benzer bir durum: Oturmuş büyük bir gayretle kasayı açmaya çalışıyorsunuz; uzun bir süre de çalışmışsınız. Kasa açmaya çalıştığınız dışında ne yaptığınızı bilmeyen biri geliyor ve size “10:20:30 kombinezonunu neden denemiyorsun?” diyor. Çok yoğun çalışmış, çok şey denemiş, belki 10:20:30’u da denemiştiniz. Belki de ortadaki sayının 20 değil 32 olduğunu zaten biliyorsunuz... Belki de beş rakamlı bir kombinezon olduğunu biliyorsunuz... Lütfen bana bu işin nasıl yapılacağını anlatan mektuplar göndermeyin. Onları okurum, öne sürülenlerin benim daha önce düşünmediğim bir şey olmadığından emin olmak için onları her zaman okurum. Ancak, yanıtlamak çok zaman alıyor; genellikle de “10:20:30’u dene” kategorisinde oluyorlar. Çok derin ve gizemli olan başka

teorilerde de gördüğümüz gibi doğanın hayal gücü bizimkinden çok çok daha üstün. Böyle derin ve gizemli bir tahmin yapmak kolay bir şey değil. Tahmin yapmak için çok zeki olmak gerekir; bu,bir makine ile gözü kapalı olarak yapılamaz.

Şimdi de sizlerle doğanın yasalarını keşfetmek sanatı üzerinde konuşmak istiyorum. Bu bir sanattır. Nasıl yapılıyor? Bunun bir yolunun geçmişe bakıp öbür insanların nasıl yaptığım görmek olduğunu ileri sürebilirsiniz. Biz de tarihe bakalım.

Newton ile başlamamız gerekir. Bilgisinin tam olmadığı bir durumla karşı karşıyaydı. Yasaları, deneye oldukça yakın olan düşüncelerini bir araya getirerek tahmin etti; gözlemler ve deneyler arasında büyük bir farklılık yoktu. Bu ilk yöntemdi; ama şimdilerde o kadar iyi sonuç vermiyor.

Newton'dan sonra büyük bir şey başaran kişi elektrik ve manyetizma yasalarını bulan Maxwell'dir Onun yaptığı da şuydu: Kendisinden önce gelen Faraday ve diğer kişilerin bulmuş oldukları bütün elektrik yasalarını bir araya getirip onları inceledi ve matematiksel yönden tutarsız olduklarını fark etti. Düzeltmek için denkleme bir terim eklemesi gerekiyordu. Bunu da uzayda dönen avara dişliler[30] ve diğer tür dişlilerden oluşan bir model tasarlayarak gerçekleştirdi. Böylece yeni bir yasa buldu. Ancak kimse bunu önemsemedi; çünkü avara dişlilere inanmıyorlardı. Bugün biz de bu dişlilere inanmıyoruz; ama bulduğu denklemler doğruydu. Demek ki, mantık yanlış olsa da yanıt doğru olabiliyor.

Göreceliğin keşfinde ise durum tümden farklıdır. Bir paradokslar yığını birikmişti; bilinen yasalar tutarsız sonuçlar veriyorlardı. Yeni bir düşünce tarzı, yasalardaki olası simetrileri tartışma bazında bir düşünce tarzı ortaya çıkmıştı. Durum özellikle zordu; çünkü Newton yasası gibi uzun süre doğru kalabilmiş bir yasanın yanlış olabileceği ilk kez fark edilmişti. Sezgisel olarak algılanan alışılmış uzay ve zaman kavramlarının da yanlış olduğunu kabul etmek zordu.

Kuantum mekaniği birbirinden bağımsız iki değişik yolla keşfedildi (bu da unutulmaması gereken bir derstir). Burada da deneysel olarak çok sayıda çelişki, ve bilinenlerle kesinlikle açıklanamayan şeyler ortaya çıkmıştı. Bunun nedeni bilginin tam olmaması değil, gereğinden fazla eksiksiz olmasıydı. 'Şöyle' olacağını tahmin ettiğiniz şey öyle' olmuyordu, iki değişik yöntemden birisi denklemleri tahmin eden Schrödinger'in[31] ,

diğeri de ölçülebilir olma kavramını analiz etmek gerektiğini öne süren Heisenberg'indi. Bu iki değişik felsefî yöntem sonunda aynı şeyin keşfine yol açtı.

Daha önce sözünü etmiş olduğum, bir nötronun bir proton, bir elektron ve bir karşı-nötrinoya ayrışmasını içeren zayıf parçalanma yasalarının yakın zamanlardaki keşfi -yine de tam olarak bilinmiyor- daha farklı bir duruma yol açmaktadır. Buradaki sorun bilginin tam olmaması, yalnızca denklemlerin tahmin edilmiş olmasıdır. Karşılaşılan özel zorluk da bütün deneylerin yanlış sonuç vermesidir. Hesapladığınız sonuç deney sonuçlarına ters düşerse hatanın nerede olduğunu nasıl tahmin edersiniz? Deneylerin yanlış olduğunu söylemek cesaret gerektirir. Bu cesaretin nereden kaynaklandığını sonra anlatacağım.

Bugün artık hiçbir paradoksumuz yok; en azından öyle sanıyoruz. Bütün yasaları birlikte ele aldığımızda ortaya çıkan şu sonsuzluk sorunu var. Ancak çöpleri halının altına süpüren kişiler öyle akıllılar ki, insan bazen bunun önemli bir paradoks olmadığını düşünüyor. Ayrıca bütün o parçacıkları keşfetmiş olmamız, bize bilgimizin eksik olduğunu söylüyor. Verdiğim örnekleri düşünürseniz, fizikte tarihin kendini tekrarlamadığını göreceğinizden kuşkum yok. Şöyle açıklayayım: "Simetri yasalarını düşünmek", "bilgiyi matematiksel olarak ifade etmek" veya "denklemleri tahmin etmek" gibi yöntemler artık herkesçe bilinmekte ve sürekli uygulanmaktadırlar. Sorun çıktığında neden bunlardan biri olamaz; çünkü ilk önce bunları denemiş olsanız gerek. Bu sefer başka bir yol bulmak gerekir. Güçlüklerin ve problemlerin çokluğu bizi bir çıkmaza sürüklemişse bunun nedeni uyguladığımız yöntemlerin daha önce uyguladıklarımıza benzer yöntemler olmasıdır. Yeni proje, yeni keşif tamamen değişik bir yoldan gerçekleştirilecektir. Görülüyor ki tarih bize fazla yardımcı olmuyor.

Sizlere Heisenberg'in, ölçülemeyen şeyler hakkında konuşulmaması gerektiği yolundaki düşüncesi konusunda bazı şeyler söylemek istiyorum; çünkü çok kimse tam anlamadan bundan söz ediyor. Bu fikri şöyle yorumlayabiliriz: Keşifleriniz veya buluşlarınız öyle olmalıdır ki hesapladığınız sonuçlar deneyle karşılaştırılabilsin. Yani hiç kimse moo veya goo'nun ne olduklarını bilmiyorsa, sonucu "bir moo üç goo eder" şeklinde hesaplamanın bir yararı olmaz. Önemli olan yalnızca sonuçların deneyle karşılaştırılabilir olmasıdır. Moo'ların ve goo'ların tahminde yer almaması önemli değildir. Tahmini ifade ederken istediğiniz sözcükleri yerli

yersiz kullanabilirsiniz; yeter ki sonuçlar karşılaştırılabilecek şekilde olsun. Bu nokta her zaman yeterince anlaşılmış değildir. Parçacık, yörünge, vb. kavramların atom dünyasına olur olmaz taşınmasından sık sık yakınılır. Bu yakınma yersiz olup genellemede sakıncalı bir şey yoktur. Bildiklerimizin ve edindiğimiz fikirlerin ötesine uzanmamız her zaman gerekir; ve uzanıyoruz da. Bu tehlikeli mi? Evet. Kesinlikten yoksun mu? Evet. Ancak ilerleyebilmenin tek yolu da budur. Kesinlikten yoksun olsa da bilimi yararlı kılmak gerekir. Bilim ancak size denenmemiş bir şey hakkında bir şeyler söylerse yararlı olur; yalnız gerçekleşmiş şeylerden söz ederse bir yaran yoktur. Örneğin, gezegenlerin hareketlerini anlayabilmek için geliştirilen yerçekimi yasasında eğer Newton "artık gezegenleri biliyorum," demekle yetinip de bunun Dünya'nın Ay üzerindeki çekimi ile karşılaştırılabileceğini akıl etmeseydi, ve daha sonra başkalarının "galaksileri birlikte tutan şey çekim olabilir," şeklinde düşünmesine yol açmasaydı yasa pek de yararlı olmazdı. Bunu yapmaya çalışmalıyız. "Galaksiler boyutunda şeyler hakkında hiçbir şey bilmediğimiz için her şey olabilir," diyebilirsiniz. Doğru, ancak bu tür bir sınırlamayı kabullenmek de bilimsel bir tutum olmaz. Galaksiler hakkında öğrenilecek şeylerin sonu yoktur. Öte yandan, davranışların tümünün bilinen yasalara göre olduğunu varsaymak da çok sınırlı ve kesin olur; deneyler de olumsuz sonuç verir. Aradığımız şey tam bu türden, kesin ifadeli ve deneylerle kolayca karşılaştırılabilir hipotezlerdir. Gerçek şudur ki, şimdiye dek galaksilerin davranışlarında bu önermeye ters düşen bir şey gözlenmemiştir.

Size daha da ilginç ve önemli bir başka örnek verebilirim. Biyolojinin gelişmesine belki de en büyük katkıyı yapmış olan varsayım şudur: Hayvanların yaptığı her şeyi atomlar da yapabilir ve biyoloji dünyasında görülen her şey, hiçbir "ekstra bir şey" olmaksızın, fiziksel ve kimyasal olayların sonucudur. "Canlılar söz konusu olunca her şey olabilir," diyebilirsiniz. Bunu kabul ederseniz canlı varlıkları hiçbir zaman anlayamazsınız. Bir ahtapotun dokunaçlarının kıpırtılarına bakıp bunun, atomların bildiğimiz fizik yasaları uyarınca yaptığı bazı hareketlerden başka bir şey olmadığına inanmak çok zordur. Ancak, bu hipotezin ışığı altında incelenirse, nasıl işlediği hakkında oldukça isabetli tahminler yapılabilir. Bu yolla, bilgi edinme alanında büyük gelişme sağlanmaktadır. Şimdiye dek bu hipotezin yanlışlığı ortaya çıkmamış, dokunaçlar da kesilmemiştir.

Bilim dünyası içinde olmayanlar aksini düşünse de, tahmin yapmak bilimselliğe ters düşmez. Yıllar önce sıradan bir insanla uçan daireler

hakkında bir sohbetim oldu. Ben ‘bilimsel’ olduğum için uçan daireler hakkında her şeyi biliyor olmalıydım! “Uçan daireler olduğunu sanmıyorum,” dedim. Karşımdaki, “Uçan dairelerin varolması olanaksız mı? Olanaksız olduğunu kanıtlayabilir misiniz?” diye sordu. “Hayır, olanaksız olduğunu kanıtlayamam; yalnız, olasılığı pek zayıf,” dedim. Ancak, bilimsel olan yol budur. Bilimsel olmak sadece neyin olası, neyin daha az olası olduğunu söylemektir; her zaman olanaklı ve olanaksızı kanıtlamaya çalışmak değil. Ne kast ettiğimi belirtmek için ona şöyle diyebildim: “Çevremde gördüğüm dünya konusunda bildiklerime dayanarak, uçan daireler hakkındaki haberlerin dünyasal zekanın bilinen irrasyonel özelliklerinden kaynaklanmış olmasının, dünya-ötesi zekanın bilinmeyen akılcılığından kaynaklanmasından daha olası olduğunu düşünüyorum.” Yalnızca daha olası, o kadar. Bu iyi bir tahmindir. Her zaman, yanlış çıkarsa başka olanakları düşünmemiz gerektiğini akılda tutarak, en olası açıklamayı tahmin etmeye çalışırız.

Neyi alıkoyup neyi atacağımızı nasıl tahmin edeceğiz? Bütün bildiğimiz şeylere ve güzel ilkelerimize karşın yine de başımız biraz dertte: ya sonsuzlar elde ediyoruz, ya da yeterince tanımlama yapamıyoruz; bir eksiklik var. Kimi zaman bu bazı fikirleri atmamız gerektiği anlamına geliyor. Hiç olmazsa geçmişte, kuvvetle benimsenen bazı fikirlerin atılması gerekmiştir. Sorun neyin alınıp, neyin atılacağıdır. Her şeyi birden atmak biraz ileri gitmek olur. O zaman üstünde çalışacak fazla bir şeyimiz kalmaz. Enerjinin korunumu ilkesi sağlam görünüyor, güzel de; onu atmak istemiyorum. Neyi atıp neyi alıkoyacağımızı tahmin etmek epeyi beceri gerektirir. Gerçekte belki de tamamen bir şans işidir; ama yine de beceri gerektirir gibi görünüyor.

Olasılık genlikleri çok ‘tuhaf şeyler; aklınıza ilk gelen de yeni fikirlerin çarpık olacağıdır. Böyle olmakla beraber kuantum mekaniğinin, olasılık genliklerinin varolduğunu ileri süren tezinden elde edilen sonuçlar listemizdeki tuhaf parçacıkların hepsi için yüzde yüz doğru çıkıyor. Bu nedenle ben, dünyanın iç mekanizmasını öğrendiğimiz zaman bu kavramların yanlış olduğunun ortaya çıkacağını sanmıyorum. Bu bölümünün doğru olduğu kanısındayım; ama bu yalnız bir tahminden ibaret.

Öte yandan, uzayın sürekli olduğu teorisinin yanlış olduğuna inanıyorum; çünkü, sözünü etmiş olduğum sonsuzlarla ve başka güçlüklerle

karşılaşıyoruz; ve bütün bu parçacıkların boyutlarını neyin saptadığı sorusu ortaya çıkıyor. Kanımca geometrinin basit kurallarını sonsuz küçük ölçekteki uzaya taşımak yanlıştır. Burada da bir boşluk bırakıyorum ve yerine ne konulacağını söylemiyorum. Söyleseydim bu dersi yeni bir yasayla bitirmiş olurdum.

Bazı kimseler bütün ilkelerdeki tutarsızlıkları; ancak tek bir tutarlı dünya olabileceğini, eğer bütün ilkeleri toplarsak ve çok kesin hesaplar yaparsak sadece ilkeleri saptamakla kalmayacağımızı, aynı zamanda bu ilkelerin her şeyin tutarlı kalmasına olanak sağlayan yegane ilkeler olduğunun da anlaşılacağını söylemek için kullandılar. Bu biraz abartılı bir beyan gibi görünüyor; bana köpeği kuyruğundan tutup sallamayı anımsatıyor. Kanımca bazı şeylerin varolduğu kabul edilmeli -50 küsur parçacığın hepsi olmasa da, elektron, vb. gibi birkaç küçük şey- o zaman, bütün bu ilkelerle ortaya çıkan karmaşıklık belki de belirli bir sonuç oluşturur. her şeyin tutarlılık tartışması yoluyla açıklanabileceğini sanmıyorum.

Bir başka problemimiz de kısmi simetrilerin ne anlama geldiğidir. Bu simetriler, yani örneğin nötron ve protonların yaklaşık olarak aynı olup yalnız elektrik bakımından aynı olmadığı; veya yansıma simetrisi yasasının ufak bir reaksiyon dışında kusursuz olduğu türünden ifadeler çok can sıkıcıdır. Bir şey hemen hemen simetriktir, ama tam simetrik değildir. Bu konuda iki düşünce ekolü vardır. Birincisi sorunun basit olduğunu, şeylerin gerçekte simetrik olduklarını, ancak ufak bir karışıklıktan dolayı biraz 'şaşılaştıklarını' öne sürer. Tek bir temsilcisi olan -o da benim- ikinci bir ekol de hayır der; kendisi karmaşık olabilir ve ancak bu karmaşıklık sayesinde basit hale gelir. Eski Yunanlılar gezegenlerin yörüngelerinin çember olduğunu düşünürlerdi. Gerçekte ise elipstiler. Bunlar tam simetrik değildir; ancak, çembere çok yakındırlar. Soru şu; Neden çembere yakındırlar? Neden hemen hemen simetriktirler? Gel-git sürtünmesi gibi uzun, karmaşık bir nedenden ötürü. Olabilir ki doğa bu konularda, kendi doğası gereği tamamen asimetriktir; ancak gerçeklerin karmaşıklığında neredeyse simetrikmiş gibi görünür, ve elipsler de çember gibi. Bu da bir başka olasılıktır; yalnızca bir tahmin.

Psikolojik olarak tamamen farklı görünen, farklı fikirler içeren A ve B gibi iki teorimiz olduğunu, ancak hesaplanan bütün sonuçlarının birbirinin aynı ve deneyle uyumlu olduğunu varsayalım. İki teori başlangıçta farklı görünmekle beraber aynı sonuçlara yol açıyorlar. Bunu matematiksel olarak

kanıtlamak kolaydır; A ve B'nin mantıksal içeriğinin, buna her zaman karşılık gelen sonuçları verdiğini göstermek yeterlidir. Böyle iki teori olduğunu varsayıyoruz; hangisinin doğru olduğunu nasıl saptayacağız? Bilimsel olan hiçbir yol yoktur, çünkü ikisi de deneyle aynı ölçüde uyumludur. Öyleyse aslında tümüyle farklı fikirlerden kaynaklandıkları halde bu iki teori matematiksel yönden özdeştirler ve ikisini ayırt edebilecek bilimsel bir yöntem yoktur.

Bununla beraber, psikolojik nedenlerle, yeni teoriler tahmin etmek bakımından denklikten çok uzak olabilirler; çünkü, birisi insana diğerinden farklı düşünceler çağrıştırabilir. Bir düşünceyi belirli bir çerçeve içinde ele alırsanız neyi değiştireceğiniz hakkında bir fikriniz olur. Örneğin, A teorisinde bir şeyden söz eden bir ifade varsa siz de "ben şuradaki fikri değiştireceğim," dersiniz. Ancak, B'de buna karşılık gelen neyi değiştireceğinizi bulmak çok karışık bir iş olabilir. Başka bir deyişle, değiştirmeden önce özdeş oldukları halde birisi için doğal görünen bir değiştirme şekli diğeri için doğal olmayacaktır. Bu nedenle, psikolojik olarak bütün teorileri aklımızda tutmamız gerekir; iyi bir teorik fizikçi de belirli bir konunun altı veya yedi farklı ifade şeklini ve hepsinin birbirine denk olduğunu bilir; bu aşamada hangisinin doğru olduğuna karar vermek olanaksızdır, ama tahmin yürütmek için farklı fikirler çağrıştıracaklarını umarak hepsini aklında tutar.

Bu bana başka bir şeyi anımsatıyor: Teoride yapılan çok küçük değişiklikler, o teorinin çevresindeki felsefe ve düşüncelerde çok büyük değişikliklere yol açar; örneğin, Newton'un uzay ve zaman konusundaki fikirleri deneylerle çok uyumlu sonuçlar vermişti. Ancak, Merkür'ün yörüngesinde çok ufak bir fark vardı. Yörüngedeki doğru hareketi bulmak teorinin özünde çok büyük bir değişim gerektirdi. Bunun nedeni Newton yasalarının çok basit ve kusursuz olmaları ve belirli kesin sonuçlar vermeleriydi. Çok küçük ölçüde farklı bir sonuç almak için tümden değiştirilmeleri gerekti. Yeni bir yasa bulmaya çalışırken kusursuzluğun üstüne küçük kusurlar koyamazsınız; yine kusursuz bir şey bulmanız gerekir. Bu da Newton'un ve Einstein'ın çekim teorileri arasındaki felsefi düşünce farkının muazzam olduğunu ortaya koyuyor.

Bu felsefeler nelerdir? Bunlar gerçekte, sonuçları çabucak hesaplamak için kurnazlıkla uygulanan yollardır. Bazen yasanın algılanış biçimi olarak yorumlanan bir felsefe, kişinin sonuçları tahmin etmek için yasayı aklında

tutuş şeklinden başka bir şey değildir. Bazı kimseler Maxwell denklemleri gibi durumlar için doğru olan şu savı ileri sürdüler: “Felsefeye aldırma; sadece denklemleri tahmin et. Sorun, yanıtları deneylerle uyumlu olacak şekilde hesaplamaktır. Denklem hakkında herhangi bir felsefe, tartışma veya sözcüğe gerek yoktur.” Yalnız denklem hakkında bir tahminde bulunuyorsanız, bu bir batkıma iyidir; önyargılı olmadan denklemi tahmin eder, böylece de daha iyi bir tahmin yapabilirsiniz. Buna karşılık, felsefe tahmin yapmanıza yardımcı olabilir. Karar vermek zor bir iştir.

Önemli olan tek şeyin teori ile deney arasındaki uyum olduğunda ısrar eden kişilere, bir Mayalı astronom ile öğrencisi arasında geçtiğini kurguladığım bir diyaloğu aktarmak isterim. Mayalılar, örneğin Güneş ve Ay tutulmaları, Ay’ın gökyüzündeki konumu, Venüs’ün konumu, vb. konularda doğruya oldukça yakın tahminler yapabiliyorlar, bütün bunları da aritmetikle gerçekleştiriyorlardı.

Ay’ın ne olduğu hakkında en küçük bir tartışma yoktu; hatta onun döndüğü bile söz konusu edilmiyordu. Sadece tutulmalarının ne zaman olacağı, ne zaman dolunay olacağı gibi şeyleri hesaplıyorlardı. Bir gencin astronoma gidip şunları söylediğini varsayalım: “Bir fikrim var. O şeyler belki dönüyorlardır ve orada belki taşa benzer şeylerden oluşmuş toplar vardır. Gökyüzünde ne zaman görüneceklerini hesaplamak yerine nasıl hareket ettiklerini bambaşka bir yolla hesaplayabiliriz.” Astronom ona: “Güzel. Tutulmalarını hangi duyarlılıkla hesap edebilirsin?” der. O da “Henüz hesapları pek geliştirmedim,” yanıtım verir, astronom bunun üzerine “Ay tutulmalarını, senin modelinle hesaplayabileceğinden çok daha kesin olarak hesaplayabiliyoruz. Bu düşündüklerin üzerinde çok durmamalısın; çünkü matematiksel modelimizin çok daha iyi olduğu apaçık,” der. Birisi gelip bir şey önerdiğinde, örneğin “dünyanın şöyle olduğunu düşünelim,” dediğinde karşısındakilerin “filan problem için bulduğun sonuç ne?” şeklinde yanıtlama eğilimleri çok güçlüdür. O “problemi henüz yeterince geliştirmedim,” dediğinde ona “ama biz geliştirdik ve yanıtları çok daha kesin olarak alabiliyoruz,” derler. Görüldüğü gibi, fikirlerin gerisindeki felsefe üzerinde kafa yorup yormamak bir sorundur.

Bir başka çalışma yolu da, kuşkusuz, yeni ilkeler tahmin etmektir. Einstein, yerçekimi teorisinde, bütün diğer ilkeler yanında, kuvvetlerin daima kütlelerle orantılı olduğu yolundaki ilkeye karşılık gelen ilkeyi

tahmin etti, ivme kazanan bir otomobilin içindeyken, yerçekim alanı içinde olmaktan farklı bir şey algılayamayacağımız ilkesini tahmin etti ve bu ilkeyi diğer bütün ilkelerle birleştirerek yerçekimi için doğru olan yasaları bulmayı başardı.

Size, bazı tahmin yöntemlerinin ana hatlarını vermiş bulunuyorum. Şimdi de elde edilen sonuçlar konusunda bazı noktalara değinmek istiyorum. Birincisi, işi bitirip sonuçları hesaplayabileceğimiz matematiksel bir formül elde ettikten sonra daha ne yapabileceğimiz sorusu. Gerçekten şaşılacak bir şey! Belli bir durumda bir atomun nasıl davranacağını anlamak için, bir kağıt üzerine işaretler koyarak kurallar belirliyoruz, bunları çapraşık bir şekilde açılıp kapanan düğmeleri olan bir makinaya veriyoruz; sonuçta atomun ne yapacağım makina bize aktarıyor. Eğer o düğmelerin açılıp kapanma yöntemleri atomun bir çeşit modeli ise, eğer atomların içlerinde de düğmeler olduğunu düşünürsek, o zaman ne olup bittiğini bir ölçüde anlamış oluyoruz. Temel şeyle hiçbir ilgisi olmayan, bazı kurallardan ibaret matematik formüller kullanarak ne olacağının tahmin edilebilmesini gerçekten çok hayrete değer buluyorum. Bir bilgisayardaki düğmelerin açılıp kapanması ile doğada olanlar tamamen farklıdır.

Bu “tahmin et - sonuçları hesapla - deneyle karşılaştır” sürecinin en önemli öğelerinden biri de ne zaman doğru olduğumuzu bilmektir. Bütün sonuçları kontrol etmeden çok önce de doğru olduğumuzu bilmek olanaklıdır. Güzelliği ve yalınlığı sayesinde gerçeği fark edebilirsiniz. Bir tahmin yürütüp onun yanlış olmadığım açıkça gösteren birkaç küçük hesap yaptıktan sonra onun doğru olduğu kolayca belli olur. Eğer tahmininiz doğru ise, doğru olduğu da aşikardır -en azından deneyimli iseniz- çünkü genellikle olan şudur; girenden çok fazla şey dışarı çıkar. Tahmininiz o şeyin çok basit olduğu yolundadır. Eğer yanlış olduğunu hemen göremiyorsanız ve öncekinden daha basitse, tahmininiz doğrudur. Deneyimsiz kişiler ve benzerleri de basit olan tahminler yaparlar; ancak bunların yanlış olduğunu hemen anlarsınız. Bu nedenle, onları hesaba katmıyoruz. Buna karşın bazı kişiler, örneğin deneyimsiz öğrenciler çok karmaşık olan ve sanki doğruymuş gibi görünen tahminlerde bulunurlar. Ben onların yanlış olduğunu kolayca anlarım; çünkü gerçek, tahmin edilenden her zaman daha basittir. Bize gerekli olan hayal gücüdür; ama korkunç bir deli gömleği giydirilmiş hayal gücü. Dünyaya yepyeni bir bakış açısı bulmamız gerek ve bu bakış açısı bilinen her şeyle uyumlu olmalı. Ancak tahminler bir yerde bir şeylere ters düşmeli; yoksa ilginç olmaz.

Bununla beraber ters düştüğü konuda da doğa ile uyum içinde olmalıdır. Gözlemlenmiş bulunan her şeyle tamamen uyum içinde olan, ancak başka bir noktada ters düşen bir bakış açısı bulabilirseniz büyük bir keşif yapmış olursunuz. Sınanmış bütün teoriler yönünden denendiğinde uyumlu, ama bir başka kapsamda farklı sonuçlar veren; hatta sonuçları doğa ile uyuşmayan bir teori bulmak hemen hemen olanaksızdır; ama tamamen değil. Yeni bir teori düşünmek son derece zordur ve olağanüstü bir hayal gücü gerektirir.

Bu serüvenin geleceği nedir? Sonunda ne olacak? Yasalar tahmin edip duruyoruz; daha ne kadar yasa bulmamız gerekecek? Bilmiyorum. Bazı meslektaşlarım bilimin bu temel yönünün hep sürüp gideceğini söylüyor; ancak ben bu sürekli yeniliğin, diyelim bin yıl boyunca devam edeceğini sanmıyorum. Bu gidiş, yani sürekli yeni yasalar bulma durumu sürüp gidemez. Öyle olsa bile, birbiri altında bu kadar çok katmanın bulunması çok sıkıcı olur. Kanımca gelecekte şu iki şeyden birisi olabilir. Birincisinde bütün yasalar bulunur, yani yeterince yasa bulunur, sonuçları hesaplayabilirsiniz ve sonuçların hepsi de deneylerle uyumlu olur. Bu da yolun sonu demektir. Yahut da deneyler gittikçe zorlaşır, pahalılaşır ve siz yasaların ancak %99.9'unu bulursunuz; yine de her zaman henüz keşfedilmiş olan bir şeylere ters düşen ve ölçümleri çok zor olan bir olgu ortaya çıkar; siz bunun açıklamasını yapar yapmaz bir yenisi çıkar; işler gittikçe yavaşlar da yavaşlar ve giderek daha az ilginç hal bir alır. Sonuca götüren öbür yol da budur. Ancak, sanırım şu veya bu şekilde sona varılması kaçınılmazdır.

Henüz keşifler yapabildiğimiz bir çağda yaşadığımız için şanslıyız. Bu iş Amerika'nın keşfine benzer; yalnız bir kere yapılabilir. Yaşadığımız çağ doğanın yasalarını keşfettiğimiz bir çağdır ve bu günler asla bir daha gelmeyecektir. Son derece heyecan verici, harikulade bir şey ama bu heyecan yok olmak zorunda. Gelecekte elbette başka ilginç konular ortaya çıkacaktır. Parklı düzeydeki olgular arasındaki bağlantılar ilgi çekecektir, örneğin biyolojideki olgular vb; veya, keşif seferleri istiyorsanız, öbür gezegenlere seferler. Ancak şimdi yaptığımız türden şeyler varolmayacaktır.

Gelecek konusunda şunu öngörüyorum: En sonunda her şey bilindiğinde veya çok sıkıcı bir hale geldiğinde, şu ana kadar üzerinde konuştuğumuz konulara yönelen dikkat ve etkin felsefe yavaş yavaş yok olacaktır. Hep dışarılarda durup aptalca laflar eden filozoflar çevremizi saracaktır. O zaman, “Haklı olsaydınız geriye kalan bütün yasaları bulurduk,” diyerek

onları engelleyemeyeceğiz. Çünkü yasaların hepsi ortada olunca, onlara uygun açıklamalar da bulunacaktır. Örneğin, Dünya'nın neden üç boyutlu olduğu hakkında her zaman açıklamalar yapılmıştır. Tek bir Dünya olduğu için bu açıklamaların doğru olup olmadıklarını anlamak çok zor. Eğer her şey bilinirse bunların neden doğru yasalar olduğu hakkında da açıklamalar yapılacaktır. Ancak bu açıklamalar, bu düşünce tarzının daha ileriye gitmemizi engelleyeceğini öne sürerek eleştiremeyeceğimiz, farklı bir çerçevede yapılacaktır. Büyük kaşiflerin, turistlerin gelmesiyle bir bölgenin yozlaştığını hissetmelerine benzer bir şekilde, düşünceler de yozlaşacaktır.

Çağımızda insanlar, daha önce hiç rastlanmamış bir durumda doğanın nasıl davranacağına ilişkin tahminler yapmaktan duyulan bir coşku, çok büyük bir coşku yaşamaktadırlar. Belirli bir alandaki bilgi ve deneylerden yararlanarak, daha önce hiç araştırılmamış bir alanda ne olacağını tahmin etme olanağımız var. Bu, kaşiflerin bildiğimiz keşiflerinden biraz değişik bir şey; onlar keşfettikleri yerlerde, henüz keşfedilmemiş bölgelerin nasıl yerler olduğuna işaret eden yeterli ipuçlarına sahiptirler. Bizim tahminlerimiz ise, bir hayli düşünme gerektirirler. Genellikle, daha önce gördüklerimize hiç benzemezler.

Doğada buna izin veren, yani bir bölümünde olan bitenden yola çıkarak tümünde gelişecek olan şeyleri tahmin etmemize izin veren nedir? Bu, bilimsel olmayan bir sorudur. Onu nasıl yanıtlayacağımı bilmiyorum; bu nedenle de bilimsel olmayan bir yanıt vereceğim. Bu özellik, kanımca, doğanın yalınlığından ve bunun yol açtığı güzellikten kaynaklanmaktadır.

Notlar

[←1] Royal Society: 1660'da kurulmuş, İngiltere'nin en eski bilim derneği (Ç.N.).

[←2] Tycho Brahe (1546-1601): Danimarkalı astronom

[←3] Johann Kepler (1571 - 1630): Brahe'nın asistanlığını yapmış olan Alman astronom ve matematikçi ressamların bildiği bir eğridir: basık bir daire. Çocuklar da onu iyi bilir; iki ucu tesbit edilmiş bir ipe bir halka geçirip halkaya da bir kalem sokulunca elips çizilebileceğini birileri onlara söylemiştir (Şekil 1).

[←4] 1 inç: 2.54 cm

[←5] 1 mil: 1.609 m.

[←6] 1 food: 30.5 cm

[←7] Olaus Roemer (1644-1710) Danimarkalı astronom.

[←8] John Cough Adams (1819-1892) Matematikti astronom Urbain Lewerrier (1811-1877): Fransız astronom

[←9] Henry Cavendish (1731-1810): İngiliz kimyager ve fizikçi.

[←10] Baron Roland von Eötvös (1848-1810): Macar fizikçi.

[←11] Robert Henry Dicke; Amerikalı fızikçi.

[←12] Paul Dirac: İngiliz fizikçi: 1933 Nobel Ödülünü Sehrödınger ile paylaşmıştır.

[←13] Micheal Faraday (1791-1867): İngiliz fizikçi

[←14] 1 Ons = 28. 3gr

[←15] 1 Lb = 454 gr

[←16] Niels Bohr Danimarkalı fizikçi.

[←17] Hermann Weyl (1885-1955): Alman matematikçi.

[←18] James Clerk Maxwell (1831-79): Cambridge'de ilk deneysel fizik hocası

[←19] Jules Henri Poincaré (1854-1912): Fransız bilimcisi.

[←20] Jean Bernard Leon Foucault (1819-68): Fransız fizikçi.

[←21] Louis Pasteur (1822-95): Fransız biyolog.

[←22] Philip Morrison; Amerikalı fizik profesörü, 1964, BBC-1 Televizyon serisi “The Fabric of the Atom (Atomun Dokusu)

[←23] Tsung Dao Lee ve Chen Ning Yang 1957 Nobel Ödülü'nü paylaşan Çinli fizikçiler.

[←24] Brown hareketleri: Robert Brown (1773-1858) tarafından bulunan, bir sıvı ortamda kolloit dağılmalarının su molekülleriyle çarpışmalarıyla oluşan sürekli zikzak hareketler (Ç.N)

[←25] Fred Hoyle: İngiliz astronom. Cambridge;
Edwin Salpeter. Amerikalı fizikçi. Cornell Ünivesitesi.

[←26] Pandora: Yunan mitolojisine göre ateşin çalınmasına kızan Zeus'un insanlarıcezalandırmak için yeryüzüne gönderdiği ilk kadın. Zeus'un onun eline verdiği kutu açılınca bütün iyilikler yok olmuş, sadece umut kalmıştır (Ç.N.).

[←27] Dimitri Ivanovitch Mendeleev (1831 - 1907) Rus kimyacısı.

[←28] Maria Mayer Amerikan fizikçisi; 1960'dan bu yana Kaliforniya Üniversitesi'nde fizik profesörü
Hans Daniel Jensen: 1963 Nobel Ödülü'nü almış Alman fizikçisi 1949'dan bu yana Heidelberg'deki Teorik Fizik Enstitüsü başkanı.

[←29] Hideta Yukawa: 1949 Nobel ödülünü almış Japon fizikçi; Kyoto'daki Temel Fizik Araştırma Enstitüsü Başkanı

[←30] Avara dişli: İki dişli arasına girip, yönü değiştirmeden hareketi nakleden dişli (Ç.N.).

[←31] Erwin Schrödinger: 1933 Fizik Nobel Ödülü'nü Paul Dirac ile paylaşan Avusturyalı teorik fizikçi.